



УДК 621.313.3

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ ЗАКРЫТОГО ИСПОЛНЕНИЯ

DEVELOPMENT OF THE PROGRAM OF HEAT CALCULATION OF THE INDUCTION MOTOR OF SMALL AND MEDIUM POWER OF THE CLOSED EXECUTION

Лыткин Виктор Владимирович, старший преподаватель каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: v.v.lytkin@urfu.ru, Тел.: +7(3433)75-45-73

Сметанин Виталий Викторович, магистрант каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: kem_em@urfu.ru, Тел.: +7(999)5629138

Денисенко Виктор Иванович, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: v.i.denisenko@urfu.ru, Тел.: +7(3433)75-45-73

Victor V. Lytkin, chief lecturer, Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: v.v.lytkin@urfu.ru, Ph.: +7(3433)75-45-73

Vitaliy V. Smetanin, Master student, Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: kem_em@urfu.ru, Ph.: +7(912)2278480

Victor I. Denisenko, Doctor Sc., Prof., Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: v.i.denisenko@urfu.ru, Ph.: +7(3433)75-45-73

Аннотация: В статье описывается программа теплового расчета асинхронных двигателей на основе эквивалентных тепловых схем асинхронного двигателя с фазным и короткозамкнутым роторами закрытого исполнения. Приведены зависимости температуры обмотки статора от параметров оребрения корпуса двигателя. данного программного продукта. Оценивается возможность применения программы при проектировании асинхронных двигателей.

Abstract: The article describes the program of thermal calculation of induction motors based on equivalent thermal circuits of the asynchronous motor with slip-ring and squirrel-cage rotor enclosed. The dependence of the temperature of the stator winding on the parameters of the motor housing fins is given. The possibilities of application of the program in the design of asynchronous motors is estimated.

Ключевые слова: асинхронный двигатель; моделирование; тепловые процессы; программа расчета.

Key words: induction motor; simulation; thermal processes; calculation program.

Преобразование энергии в электрической машине сопровождается потерями, что приводит к нагреванию всех частей электрической машины. Чем интенсивнее осуществляется отвод выделяющихся в электрической машине потерь, тем большую мощность можно получить от машины в заданных габаритах. Поэтому при создании надежной и экономичной электрической машины не обойтись без совершенствования ее системы охлаждения.

Для решения поставленной задачи кафедрой электрических машин УрФУ предложено

использовать программу теплового расчета закрытых асинхронных двигателей на основе эквивалентных тепловых схем для определения оптимального количества охлаждающих ребер и их размеров.

Так как нагрев обмотки статора зависит от нескольких факторов: внешняя температура, термическая проводимость станины, расход воздуха, геометрия и количество ребер, то оптимальное количество охлаждающих ребер необходимо устанавливать по данным полного теплового расчета электрической машины, в

котором используются зависимости, связывающие расход воздуха и теплоотдачу станины с геометрией оребрения.

Тепловой расчет производится с использованием эквивалентных тепловых схем (ЭТС) при помощи компьютерной программы, созданной студентами кафедры электрических машин УрФУ.

При разработке программы использовались тепловая схема асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором и ЭТС двигателя с фазным ротором. Программа составлена в системе компьютерной алгебры MathCAD.

Метод эквивалентных тепловых схем для расчета теплового состояния был выбран ввиду простоты программной реализации и достаточной точности расчета. В связи с тем, что данный метод не дает полной картины температурного поля внутри электрической машины, а только некоторые средние значения температуры для ее отдельных элементов, эквивалентную тепловую схему необходимо составлять достаточно подробно.

Для составления подробной эквивалентной тепловой схемы асинхронного двигателя с фазным ротором закрытого исполнения была построена подробная ЭТС фазного ротора, которая затем была интегрирована в подробную эквивалентную тепловую схему асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором [1]. В полученной схеме учитывается отвод тепла от лобовых частей обмотки фазного ротора, потери в обмотке ротора, потери в стали, вызванные пульсацией магнитного поля в воздушном зазоре и подогрев воздуха в вентиляторе. Потери, выделяемые в яре сердечника фазного ротора и потери в контактных кольцах, не учитываются.

Узлы тепловой схемы имитируют отдельные части двигателя. Если в какой-либо части двигателя

присутствуют распределенные по объему источники теплоты, то при составлении эквивалентной тепловой схемы они заменяются сосредоточенным источником (источником теплового потока), помещенным в узел, имитирующий эту часть. Узлы с внутренним тепловыделением на схеме обозначаются кружками, узлы без тепловыделения – точками.

Созданная программа позволяет выполнить расчет теплового состояния для различных конфигураций и размеров магнитной цепи, конструктивных узлов и отдельных элементов конструкции асинхронного двигателя, с целью обеспечения наиболее эффективного охлаждения электрической машины, снижения перегрева изолированной обмотки и снижения материалоемкости оребренной станины электродвигателя.

Для расчета тепловых сопротивлений схемы использовалась методика [1]. Для решения тепловых схем был использован метод системы уравнений в матричной форме для эквивалентной тепловой схемы в установившемся режиме:

$$\begin{cases} P_1 = \left(\sum_{k=1}^{m(k \neq 1)} \Lambda_{k1} \right) \cdot (\theta_1 - \theta_b) - \sum_{k=1}^{m(k \neq 1)} [\Lambda_{k1} \cdot (\theta_k - \theta_b)], \\ P_2 = \left(\sum_{k=1}^{m(k \neq 2)} \Lambda_{k2} \right) \cdot (\theta_2 - \theta_b) - \sum_{k=1}^{m(k \neq 2)} [\Lambda_{k2} \cdot (\theta_k - \theta_b)], \\ \dots \\ P_m = \left(\sum_{k=1}^{m(k \neq m)} \Lambda_{km} \right) \cdot (\theta_m - \theta_b) - \sum_{k=1}^{m(k \neq m)} [\Lambda_{km} \cdot (\theta_k - \theta_b)], \end{cases}$$

где m – количество узлов эквивалентной тепловой схемы;
 θ_b – температура воздуха снаружи машины;
 $\Lambda_{ki} = 1/R_{ki}$ – тепловая проводимость соответствующего участка схемы;
 P_i – потери в i -ом узле.

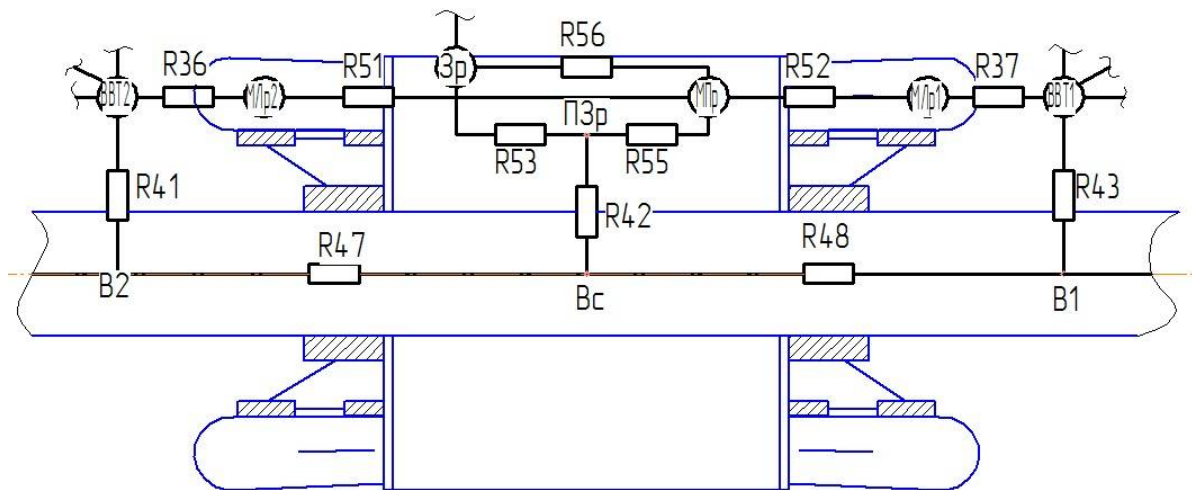


Рис. 1. Эквивалентная тепловая схема фазного ротора

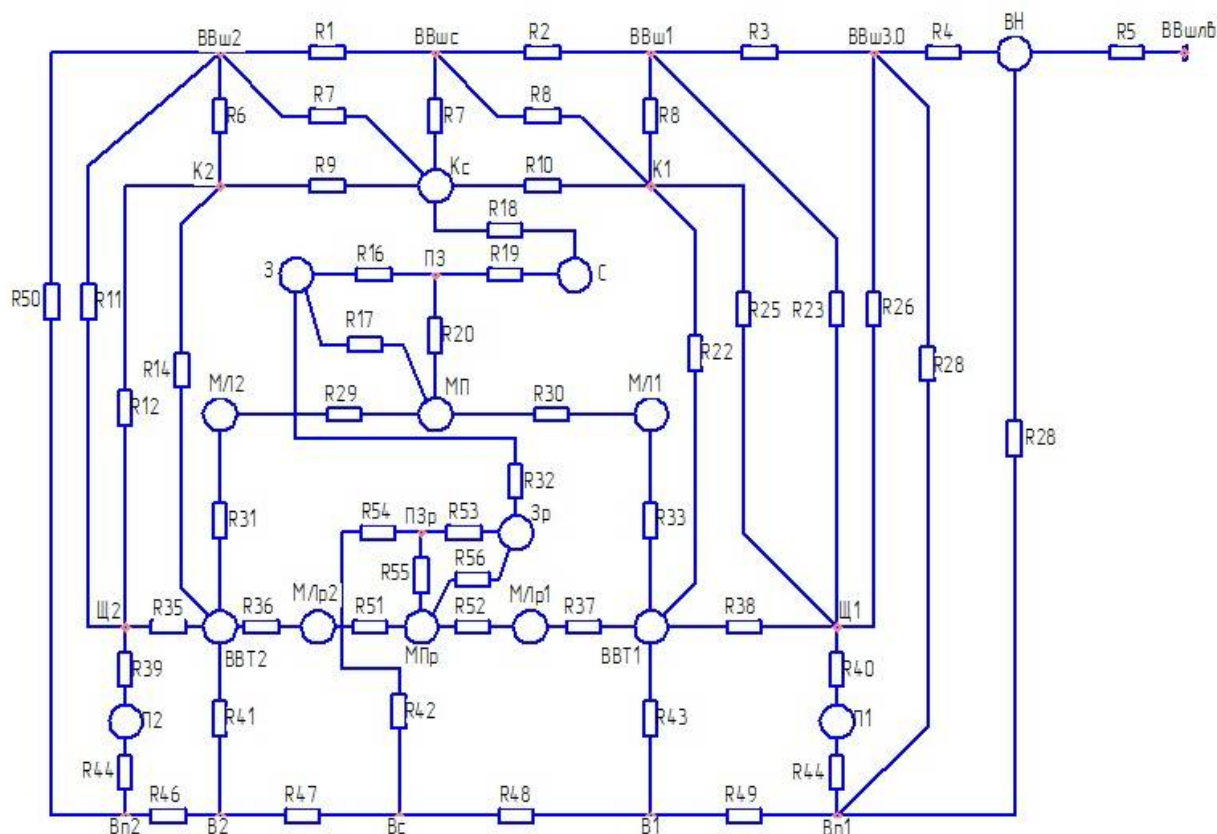


Рис. 2. Подробная эквивалентная тепловая схема асинхронного двигателя с фазным ротором закрытого исполнения

Для проверки предположений и правильности работы созданной программы теплового расчета был использован двигатель типа рДМ180М2, выпускаемый на заводе «Уралэлектромаш» г. Каменск-Уральский.

Тепловые сопротивления эквивалентной тепловой схемы, эквивалентные коэффициенты теплопроводности, параметры наружного вентилятора и оребренной станины определялись на основе технической документации, представленной заводом. Величины потерь в узлах двигателя – источниках теплоты определялись на основе поверочного электромагнитного расчета двигателя рДМ180М2.

Решение эквивалентной тепловой схемы асинхронного двигателя производится путем решения системы линейных уравнений, составленных по законам Ома и Кирхгофа для тепловой цепи. Для составления системы уравнений и соответствующих матриц производится расчет коэффициентов собственных и взаимных проводимостей, а так же их приведенных потерь.

Результатом теплового расчета являются средние значения температуры для всех рассматриваемых узлов асинхронного двигателя.

Помимо этого, программа теплового расчета позволяет получить зависимости температуры обмотки статора от числа и высоты ребер, а также – определить влияние материала станины и подшипниковых щитов на нагрев двигателя.

Таким образом, созданная на кафедре электрических машин УрФУ совместно со студентами программа расчета позволяет не только определять средние температуры конструктивных узлов асинхронного двигателя, но и проводить анализ влияния геометрических размеров оребренной станины, наружного вентилятора и применяемых конструкционных материалов на его тепловое состояние еще на этапе проектирования. Разработанная программа является основной частью теплового расчета асинхронных двигателей закрытого исполнения.

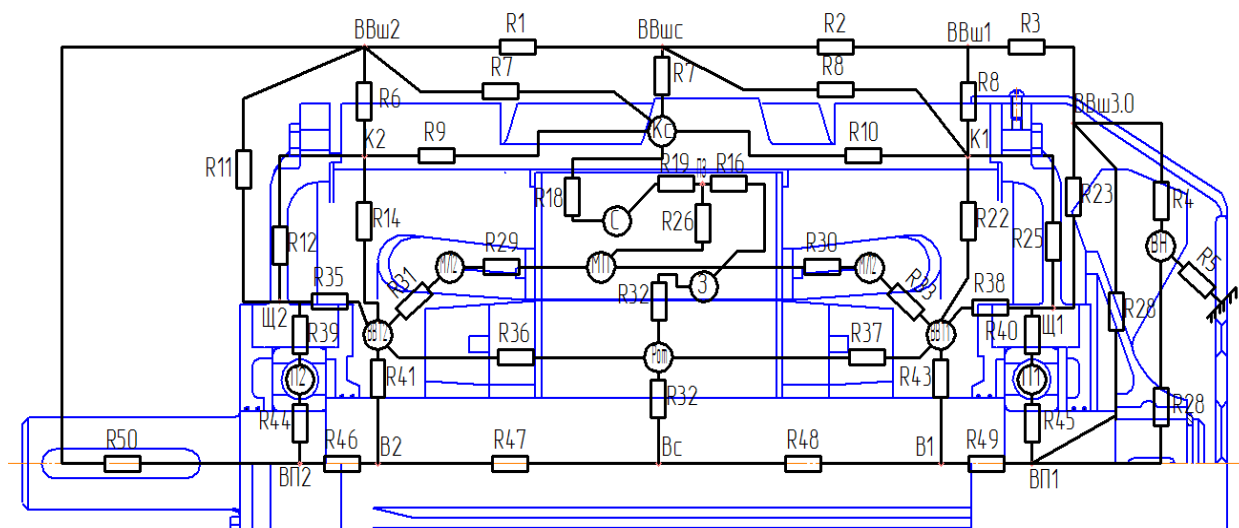


Рис. 3. Полная тепловая схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

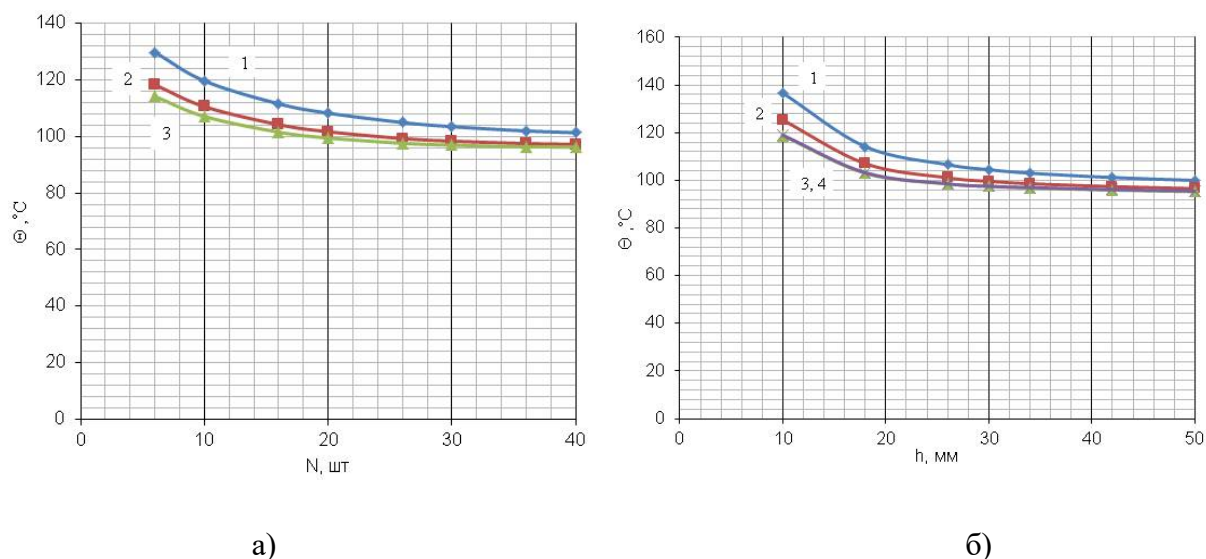


Рис. 4. Зависимость температуры пазовой части обмотки статора от количества и высоты ребер на алюминиевой станине

а - при высотах ребра: 1 – 20 мм, 2 – 30 мм, 3 – 40 мм
 б – при количестве ребер: 1 – 16 шт, 2 – 26 шт, 3 – 36 шт, 4 – 40 шт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисенко А.И., Костиков О.Н., Яковлев А.И. Охлаждение промышленных электрических машин.-М.: Энергоатомиздат, 1983. 296с.

2. Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах.-М.: Высшая школа, 1989. 240с.