обобщенные параметры $\sim = 2h/R$; $= R\sqrt{\mu \pm \alpha_0}$; $\text{¡} = \sqrt{R_u}/\sqrt{R_в}$; $R = \sqrt{R_u R_в}$.

Адекватность полученных теоретических результатов подтверждается проведенными экспериментальными исследованиями

Список литературы: 1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. *В.В. Клюева*. Т. 2: В 2 кн. – М: Машиностроение, 2003. – 688 с.: ил. **2**. *Лазарев С.Ф., Копылов С.И.* Ортогональные ВТП для контроля угловых смещений электропроводящих изделий. // Дефитоскопия. – 1990. – №6. – с.74-79.

УДК 621.313

Л.В.ШИЛКОВА, ***В.И. МИЛЫХ,*** докт. техн. наук, проф.,
Е.А. СИДОРЕНКО

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ МАГНИТНОГО ПОЛЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА

Современные вычислительные средства позволяют заменить или дополнить множество традиционных приближенных методов электромагнитных расчетов параметров и характеристик электрических машин (ЭМ) единым методом на основе численного расчета магнитных полей [1]. При этом повышается точность расчётов по сравнению с аналитическими методами и появляется возможность использовать одни и те же конечно-элементные модели для получения различных параметров.

Целью данной работы является расчёт магнитного поля (МП) асинхронного двигателя (АД) в режиме холостого хода (ХХ) численно-полевым методом. В качестве объекта для исследования принят трехфазный АД мощностью 15 кВт на номинальное напряжение 220 В, спроектированный в [2]. Его расчётное поперечное сечение представлено на рис.1. Данный АД имеет число пар полюсов p=2, высоту оси вращения h=0,15 м, наружные диаметры статора d_{se}=0,272 м, ротора d_r= 0,184 м, воздушный зазор δ=0,5 мм.

Графически модель АД реализуется в программе КОМПАС V7 с последующим импортированием файла в формате dxf в среду программы FEMM [3]. Эта программа реализует на основе метода конечных элементов

(МКЭ) уравнение, описывающее МП (в нашем случае – в поперечном сечении АД):

$$\nabla \times \left[\frac{1}{\mu(B)} \nabla \times (\vec{k} A_z) \right] = \vec{k} J_z \quad (1)$$

где A_z, J_z – аксиальные составляющие векторного магнитного потенциала (ВМП) и вектора плотности тока; $\vec{k}$ - орт.

$$\mu = \frac{B}{H(B)} \quad (2)$$

(у нас использовалась кривая намагничивания стали 2013, а также учитывался коэффициент заполнения шихтованных сердечников).

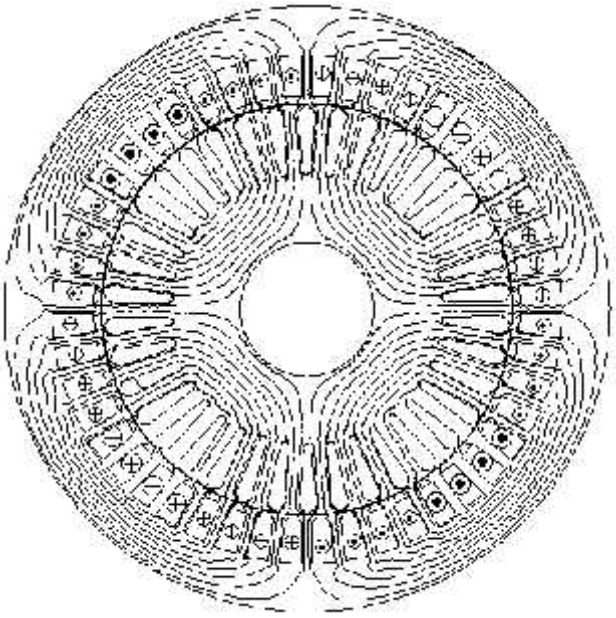

Рисунок 1 - Расчётная модель асинхронного двигателя с картиной магнитного поля

Для тестирования программы FEMM расчеты МП посредством МКЭ проведены в сопоставлении с расчетами магнитной цепи АД по классической методике [2]. При проектировании АД было задано номинальное значение магнитного потока **Ф**=9,01·10^{-3} Вб и классическим методом магнитной цепи проведен расчет намагничивающего тока статора для режима ХХ: I_μ=7,75 А. Этот ток и стал основою для расчета МП МКЭ по программе FEMM.

При расчете МП взят момент времени, когда синусоидальный ток в фазе *A* обмотки статора имеет амплитудное значение: $i_{sA} = I_{ms} = \sqrt{2} I_{«} = 10{,}96$ А. Тогда в фазах *B* и *C* токи в этот момент времени: $i_{sB} = i_{sC} = -0{,}5 I_{ms}$. По пазам статора (рис.1) токи распределены с учетом схемы его обмотки (однослойная без укорочения) и числа эффективных проводников на паз.

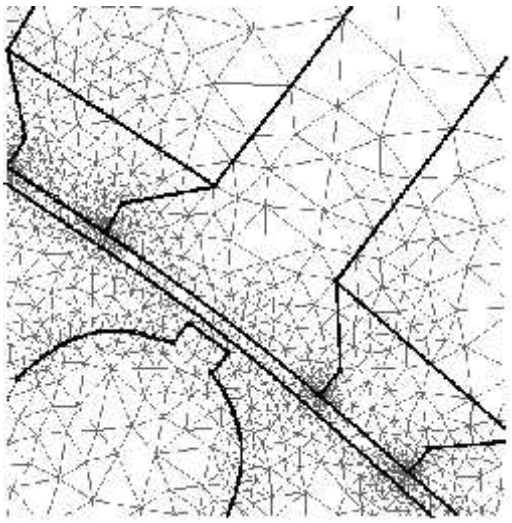

Рис. 2. Треугольная конечно-элементная сетка

Программой FEMM была создана

конечно-элементная структура из 47338 узлов и 94314 треугольников (фрагмент дан на рис.2). Расчет МП на ЭВМ с процессором Genuine Intel 2,2 GHz занимает
7 мин.

Рассчитанная картина силовых линий МП АД (линий равного ВМП) в режиме ХХ дана на рис.1. Она правильно отражает существующие представления о структуре МП в АД. Максимальное значение ВМП составило: A_{max}=0,0384 Вб/м.

Численный расчет МП дает прямой выход на целый ряд электромагнитных параметров ЭМ [1]. В нашем случае ограничимся сравнением следующих результатов полевого расчета по формулам из [1] и классического расчета методом магнитной цепи [2]. Основной магнитный поток в воздушном зазоре определяется через распределение ВМП с учетом активной длины АД [1]: Ф=9,9·10^{-3} Вб. Средние значения магнитной индукции зубцах статора и ротора: классический расчет [2] дает B_{ts}=1,93 Тл и B_{tr}=1,805 Тл, а расчет численным МКЭ - B_{ts}=1,89 Тл и B_{tr}=1,69 Тл. Очевидное уточнение произошло благодаря гораздо меньшим допущениям численного метода расчета МП по сравнению с классическим методом. Погрешность последнего здесь оценивается в 7%, что необходимо учитывать при проектировании и исследовании ЭМ.

Список литературы: 1. *Милых В.И., Полякова Н.В.* Определение электромагнитных параметров электрических машин на основе численных расчетов магнитных полей // Електротехніка і електромеханіка.-2006.-№2.-С.40-46. **2.** *Копылов И.П, Горяинов Ф.А., Клоков Б.К.* и др. Проектирование электрических машин./Под ред. И.П.Копылова – М.: Энергия, 1980.- 496с. **3.** *Meeker D.* Finite Element Method Magnetics. Version 4.0. User's Manual, January 26, 2004 // http://femm.berlios.de, 2003. **4.**. *Вольдек А.И.* Электрические машины. -Л.: Энергия,-1978.-832 с.

УДК 621.313

Л.В. ШИЛКОВА, ***В.И. МИЛЫХ***, докт. техн. наук, проф.,
Е.А. СИДОРЕНКО

АНАЛИЗ МАГНИТНОГО ПОЛЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ НАГРУЗКИ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ