

УДК 621.313.17

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ И МОМЕНТОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДИСКОВОГО ТИПА

**В.В.Гребеников**, канд.техн.наук, **Р.Р.Гамалия**,  
Институт электродинамики НАН Украины,  
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

*Рассмотрен аналитический метод расчета магнитного поля электродвигателя дискового типа с поперечным намагничиванием постоянных магнитов, расположенных на роторе. Получено аналитическое решение двухмерной задачи Лапласа для векторного магнитного потенциала в области полюсного деления для сечения по среднему радиусу магнитной системы электродвигателя дискового типа. В работе приведены результаты расчета магнитного поля, индукции в зазоре между ротором и статором, а также зависимость вращающего момента от положения ротора относительно статора. Выполнено сравнение полученных результатов с численным решением, полученным в пакете Elcut 5.6. Библ. 2, рис. 2.*

**Ключевые слова:** двигатель дискового типа, постоянные магниты, электромагнитная индукция и момент.

Задача конструирования электрических машин требует расчета магнитного поля для заданного сечения магнитной системы. Среди существующих методов расчета электромагнитного поля особое значение имеют аналитические методы, которые позволяют производить серии электромагнитных расчетов быстрее по сравнению с численными методами, что является решающим фактором при осуществлении оптимизационных расчетов.

В качестве примера на рис. 1 показаны результаты расчета магнитной системы электродвигателя дискового типа с ПМ на роторе [1]. Конструктивно электродвигатель состоит из двухсекционного статора, располагаемого по обе стороны от ротора. В каждой секции статора расположены по 18 медных катушек, соединенных в трехфазную систему и, таким образом, каждая из фаз содержит по шесть пар последовательно соединенных катушек. Ротор содержит 15 пар магнитов, разделенных спицами из немагнитного материала. На рис. 1, а показана картина магнитного поля в сечении двигателя на расстоянии 115 мм от центра.

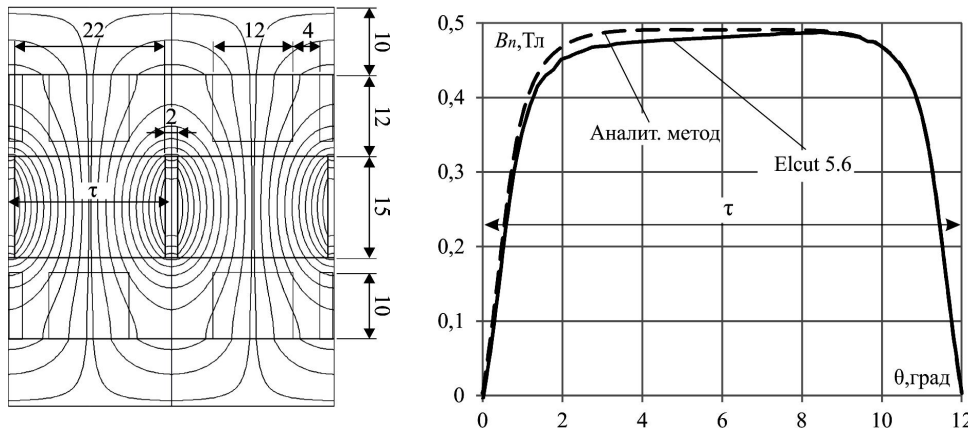


Рис. 1, а, б

Сущность аналитического метода заключается в решении основного уравнения магнито-статики для векторного магнитного потенциала в исследуемой двумерной области [2]. При решении задачи были сделаны следующие допущения:

- в силу отсутствия насыщения стальных материалов, что обусловлено большими воздушными промежутками между ними, отно-

сительная магнитная проницаемость стали принята равной  $\mu_{СТ}=1000$ ;

- поскольку линии магнитного поля практически не выходят за область магнитной системы на краях стального замыкателя, сверху и снизу используются условия нулевого векторного потенциала;

- для электрических машин с ПМ характерно слабое влияние реакции якоря, поэтому моделировалось исключительно поле постоянных магнитов без учета поля медных катушек;

- при отсутствии реакции якоря линии магнитного поля ПМ имеют только нормальную составляющую на границах полюсного деления.

В результате выражения для векторного магнитного потенциала в каждом слое электрической машины имеет вид

$$A_z(x, y) = D_1 x + D_2 + \sum_{k=1}^{\infty} (A_k e^{\lambda_k y} + B_k e^{-\lambda_k y}) \sum_{l=1}^{l_{\max}} C_l \sin(\lambda_k x + \varphi_k^l), \quad (1)$$

где  $D_1, D_2, A_k, B_k, C_l, \lambda_k, \varphi_k^l$  – постоянные, определяемые из граничных условий для подобластей, в которых решались уравнения магнито-статики.

На рис. 1, б показан график магнитной индукции в воздушном зазоре между ротором и статором, рассчитанной аналитическим методом с использованием формулы (1), а также методом конечных элементов с

помощью пакета Elcut 5.6, в котором учтены нелинейная характеристика стали и поле реакции якоря. Также аналитически был рассчитан электромагнитный момент, действующий на ротор электродвигателя. На рис. 2 показаны соответствующие зависимости момента от положения ротора относительно статора электрической машины.

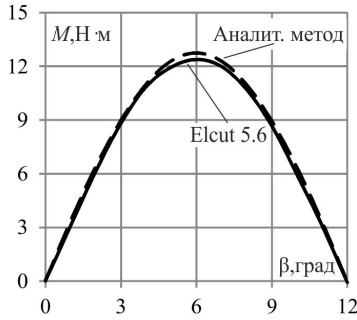


Рис. 2

Таким образом, предложена аналитическая методика, позволяющая рассчитывать магнитное поле и момент в электродвигателях дискового типа с ПМ. Среднеквадратичное отклонение между значениями индукции и момента, посчитанными по аналитической методике и с помощью пакета Elcut 5.6, не превосходит 2% для индукции и 3% – для момента.

1. Афонин А.А., Гребеников В.В. Исследование беспазовых электрических машин с постоянными магнитами // Доповіді Академії Наук України. – 2009. – № 5. – С. 99–104.

2. Гребеников В.В., Гамалія Р.В., Гамалія Р.Р. Аналитическое моделирование магнитных полей электродвигателей с постоянными магнитами дискового типа // Праці ІЕД НАН України. – 2011. – Вип. 30. – С. 79–86.

УДК 621.313.17

**АНАЛИТИЧНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ І МОМЕНТІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНА З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ ДИСКОВОГО ТИПУ**

**Гребеніков В.В.,** канд.техн.наук, **Гамалія Р.Р.,**  
**Інститут електродинаміки НАН України,**  
**пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.**

*Розглянуто аналітичний метод розрахунку магнітного поля електродвигуна дискового типу з поперечним намагніченням постійних магнітів, розташованих на роторі. Одержано аналітичний розв'язок двовірної задачі Лапласа для векторного магнітного потенціалу в області полюсного ділення для поперечного перерізу по середньому радіусу магнітної системи електродвигуна дискового типу. Наведено результати розрахунку магнітного поля, індукції в зазорі між ротором і статором, а також залежність моменту від положення ротора відносно статора. Виконано порівняння отриманих результатів з чисельним рішенням, отриманим в пакеті Elcut 5.6. Бібл. 2, рис. 2.*

**Ключові слова:** двигун дискового типу, постійні магніти, електромагнітна індукція і момент.

**ANALYTICAL METHOD OF CALCULATING THE ELECTROMAGNETIC FIELD AND TORQUE OF THE DISC-TYPE MOTOR WITH PERMANENT MAGNETS**

**V.V.Grebenikov, R.R.Gamaliia,**  
**Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,**  
**Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.**

*We consider an analytical method for calculating the magnetic field of disk-type motor with a transverse magnetization of permanent magnets located on the rotor. An analytical solution of 2-D Laplace problem for the vector magnetic potential in the area of the pole pitch for the cross section of the disc-type motor magnetic system by the average radius is given. The results of calculation of the magnetic field induction in the gap between the rotor and stator, and the dependence of torque on the rotor position relative to the stator are shown. The results are compared with the numerical solution of the problem in the package Elcut 5.6. References 2, figures 2.*

**Key words:** disc-type motor, permanent magnet, electromagnetic induction and torque.

1. Afonin A.A., Grebenikov V.V. Research of stoles electric machines with permanent magnets // Dopovidi Akademii Nauk Ukrainy. – 2009. – № 5. – С. 99–104. (Rus)

2. Grebenikov V.V., Gamaliia R.V., Gamaliia R.R. Analytical modeling of magnetic fields in disc-type motors with permanent magnets // Pratsi Instytutu Elektrodynamiky NAN Ukrainy. – 2011. – Vol. 30. – Pp. 79–86. (Rus)

Надійшла 04.01.2012  
 Received 04.01.2012