

УДК 621.313

## РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Н.А. Лаптев, студент гр. 4-ЭТ-4, 4 курс  
Научный руководитель: В.Н. Овсянников, к.т.н., доцент  
Самарский государственный технический университет  
Г. Самара

Моментные двигатели (МД) постоянного тока с ограниченным углом поворота ротора используются в быстродействующих высокоточных системах стабилизации бортовых авиационных установок слежения и телемеханики [1]. Особенностью работы таких двигателей является то, что ротор либо заторможен моментом нагрузки, либо отклоняется на определенный угол, заданной системой управления. Актуальность расчета магнитного поля момента двигателя в том, что не до конца решен вопрос обеспечения стабильности электромагнитного момента двигателя в рабочем диапазоне углов поворота ротора.

Так как МД с ограниченным углом поворота ротора работает в режиме короткого замыкания, то величиной ЭДС можно пренебречь, а ток протекающий в обмотке статора принять за постоянный. Из выше перечисленного следует, что задача расчета магнитного поля МД с ограниченным углом поворота ротора является магнитостатической задачей.

Для решения магнитостатической задачи примем следующие допущения [2]:

1. Плотность тока возьмем равной нулю, в следствии этого магнитное поле будут определять постоянные магниты, воздушный зазор и магнитопровод.

2. Материал магнитопровода не насыщен.

3. Постоянные магниты намагниченны до насыщения.

4. Задача двумерная плоскопараллельная, поскольку потоки рассеяния магнитов и лобовых частей обмотки можно учесть отдельно.

Из аналитического расчета [2] ниже приведены уравнения для решения магнитного поля:

Магнитостатическое поле описывается системой уравнений Maxwella:  
 $rotH = j; divB = 0$ .

Где  $H$  – вектор напряженности магнитного поля;  $B = \mu_a \cdot H$  - вектор индукции магнитного поля;  $j$ - вектор плотности тока;  $\mu_a$  - абсолютная магнитная проницаемость среды.

Уравнение Пуассона, описывающее электромагнитное поле в двумерном пространстве имеет вид:

$$\frac{d}{dx} \left( \frac{1}{\mu_y} \cdot \frac{dA_x}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left( \frac{1}{\mu_x} \cdot \frac{dA_y}{dy} \right) = -j + \left( \frac{dH_y}{dx} \cdot \frac{dH_x}{dy} \right)$$

Где  $\mathbf{A}$  – вектор магнитного потенциала;  $\mathbf{j}$ - вектор плотности тока;  $\mathbf{H}$  – вектор напряженности магнитного поля;  $\mu$  - магнитная проницаемость. Для магнитопровода статора и ротора магнитная проницаемость определяется кривой намагничивания.

Чтобы решить магнитостатическую задачу необходимо рассчитать геометрическую модель и задать для неё конкретные физические свойства сред.

Выберем модель проектирования двигателя, которая удовлетворяет следующим условиям:

1. Минимальная масса и габариты двигателя. Следует отметить, что часто разработчик не имеет возможности оптимизировать МД по габаритам, так как двигатель является частью более сложной системы, ограничен размерами и даже может не иметь собственных подшипников, являясь встроенной машиной [2].

2. Минимальная потребляемая двигателем мощность. Это условие в первую очередь определяет нагрев машины, а, следовательно, и стабильность её характеристик. Кроме того, в системах автономных объектов мощность, потребляемая МД, может составлять существенную долю от ограниченной мощности бортовой сети.[3]

3. Обеспечение стабильности момента в пределах одного оборота.

4. Важной характеристикой качества МД является момент трогания двигателя и соответствующий ему уровень сигнала. Чувствительность МД определяется моментом холостого хода и переходным сопротивлением скользящего контакта в коллекторных машинах.

Учет полей рассеяния с торцевой части двигателя проводится по методике, изложенной в [4].

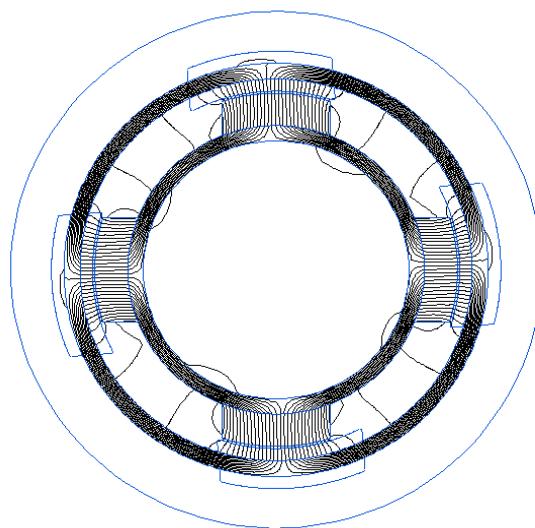


Рисунок 1. Магнитное поле при отклонении ротора на  $5^\circ$

Таким образом, исходя из выше перечисленных условий, весьма перспективным является моментный двигатель, который состоит из четырехпо-

люсного ротора без полюсных наконечников и кольцевой беспазовой обмотки статора.

При решении магнитостатической задачи в качестве программного средства для моделирования магнитного поля и расчета был выбран современный программный комплекс ELCUT [5].

По полученным результатам расчета на рисунке 1 изображено магнитное поле МД с углом поворота ротора  $\pm 5^\circ$ . Посчитав промежуточные значения момента от угла поворота ротора, получим зависимость момента от угла поворота ротора  $M = f(\alpha)$ , которая представлена на графике кривой момента (рис. 2).

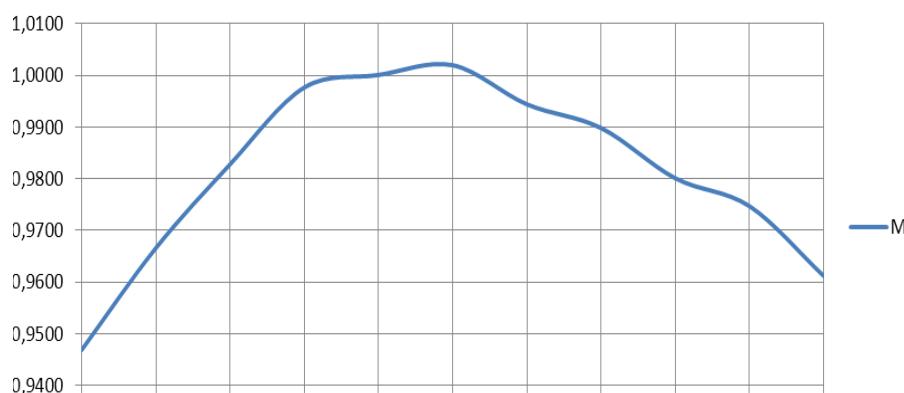


Рисунок 2. Кривая момента в пределах рабочего угла поворота ротора двигателя.

Расчеты по уточненной математической модели, впоследствии подтвержденные экспериментальными данными, показали, что нестабильность момента в пределах рабочего угла не превышает 5%. Этот результат говорит о правильности выбора основных конструктивных решений МД: беспазовой обмотки статора, возбуждения от постоянных магнитов, длины дуги обмотки, превышающей ширину полюса на заданный угол поворота.

#### Список литературы.

1. Столов Л.И., Афанасьев А.Ю. Моментные двигатели постоянного тока. –М.: Энергоатомиздат, 1989 – 224с.
2. Столов Л.И., Зыков Б.Н. Моментные двигатели с постоянными магнитами – М.: Энергия, 1977 112с.
3. Беседин И.М., Грузков С.А., Михеев А.В. Определение факторов, повышающих точность моментного двигателя // Межвузовский сборник трудов. М: Изд-во МЭИ, 1983, №9, с.64-69.
4. Овсянников В.Н., Макаричев Ю.А. Метод расчета коэффициента рассеяния беспазового моментного двигателя с постоянными магнитами Изв. Вузов Электромеханика, № 6, 2007, - С. 38-41
5. ELCUT. Комплект программ моделирования двухмерных полей методом конечных элементов. Версия 4.2 /Руководство пользователя. СПб.: НПК "Топ". - 2000. 130 с.