

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ БЕСКОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПЕЧАТНОЙ ОБМОТКОЙ НА ЯКОРЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Баландина Т.Н., Баландин Е.А.

Научный руководитель: Дмитриев В.С. д.т.н., профессор  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E- mail: error.balandina@yandex.ru

В настоящее время в электромеханических исполнительных органах (ЭМИО) наибольшее применение находят бесконтактные двигатели постоянного тока (БДПТ). Отсутствие щеточно-коллекторного узла у данного вида двигателя увеличивает надежность и долговечность, повышает КПД. Такой вид электродвигателя может работать в условиях широкого диапазона температур, в вакууме. [2]

В данной статье рассматривается расчет параметров бесконтактного электродвигателя постоянного тока с печатной обмоткой на якоре, мощностью 5 Вт и напряжением питания 12 В, скорость 6000 об/мин. Применение плоского якоря с печатной обмоткой для ЭМИО является оригинальным новшеством.

Конструкция БДПТ с печатной обмоткой приведена на рисунке 1.

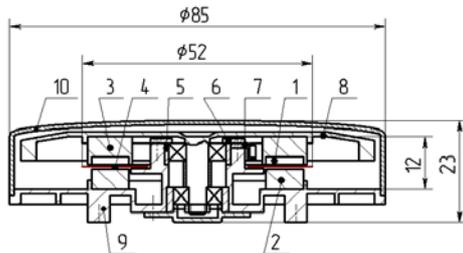


Рис.1. Конструкция БДПТ с печатной обмоткой и его габариты.

Литые постоянные магниты 1 квадратной формы установлены в пазах кольцевого магнитопровода 3 из магнитно-мягкого материала. Кольцо 2 является второй частью магнитопровода. Крепление постоянных магнитов 1 в пазах кольцеобразной станины 3 осуществляется приклеиванием. Поверхности кольца 2 и самих полюсов, образующие торцевой воздушный зазор, тщательно обработаны для обеспечения одинаковых величин зазора магнитной индукции под каждым полюсом. Магнитная система встраивается в корпус 9 и диафрагму маховика 8 из немагнитного материала. Через отверстие в корпусе 9 (на рисунке не показано) подводится питание к трехфазному якору 4 и датчикам положения установленным при помощи пластины 7.

Ниже приведены расчеты якоря с печатной обмоткой. Приблизенно ток якоря можно определить по следующей формуле [3]:

$$I_{я} = \frac{P_{н}}{\eta \cdot U_{н}} = \frac{5}{0.8 \cdot 12} = 0.52(A) \quad , \text{ где } \eta -$$

предварительная величина к.п.д. двигателя без учета потерь на возбуждение. ЭДС при скорости  $n = 1000(\text{об} / \text{мин})$  [3]:

$$E = \frac{p \cdot N}{60 \cdot a} \cdot n \cdot \Phi = \frac{3 \cdot 34}{60 \cdot 1} \cdot 1000 \cdot 0.0012 = 2(V)$$

где,  $p$  – число полюсов;  $N$  – число проводников печатной обмотки;  $a$  – число параллельных ветвей обмотки, равно 1 т.к. обмотка волновая;  $\Phi$  – магнитный поток.

Плотность тока в обмотке якоря для данного вида двигателя [1]:

$$j_{я} = 30 \div 40(a / \text{мм}^2) , \text{ принимаем}$$

$$j_{я} = 30(a / \text{мм}^2) .$$

Полюсное деление [3] :

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_{cp}}{2 \cdot p} = \frac{3,14 \cdot 3}{2 \cdot 3} = 1,57(\text{см}) ,$$

$D_{cp}$  - оптимальный средний диаметр якоря (рис.2).

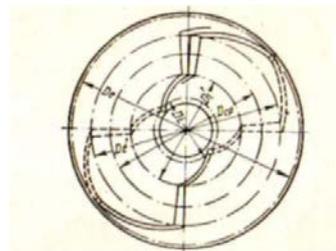


Рис. 2. Размеры печатной обмотки дискового якоря [3].

Внутренний диаметр обмотки [3]:

$$D_i = \frac{N \cdot t_{я}}{2 \cdot \pi \cdot \gamma} = \frac{34 \cdot 0.074}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.77} = 1.6(\text{см}) \text{ где,}$$

$t_{я}$  – минимальный шаг печатной обмотки;  $\gamma$  – отношение минимального шага печатной обмотки  $t_{я}$  к минимальному шагу на внутреннем диаметре  $t_i$  (рис. 3).

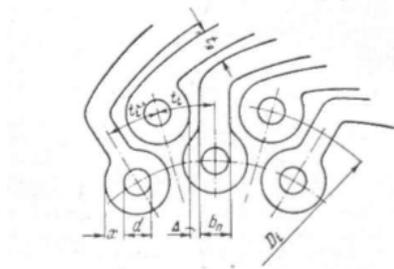


Рис. 3. Концы внутренних лобовых частей печатной обмотки [3].

Внешний диаметр обмотки [3]:

$$D_e = D_e + \frac{\pi \cdot \gamma \cdot D_i}{2 \cdot p} = 3.6 + \frac{3.14 \cdot 0.77 \cdot 1.6}{2 \cdot 3} = 4.3(\text{см}), \text{ где}$$

$D_e'$  - внутренний диаметр внешних лобовых частей (рис.2).

Но исходя из рациональной комплектации всего ЭМИО приняты следующие значения диаметров обмотки (с сохранением пропорций): внутренний диаметр обмотки -2,26 см, внешний – 5,2 см.

В данной статье рассматривается БДПТ с печатной обмоткой несимметричной формы, с односторонним расположением полюсов относительно якоря. При несимметричном расположении полюсов магнитное рассеяние значительно больше, чем при симметричном. Однако, в маломощных двигателях с дисковым якорем применяют все же несимметричное расположение полюсов, имеющее ряд конструктивных достоинств, а именно:

- почти в 2 раза меньшее количество деталей;
- несимметричная магнитная система более технологична.

Размеры магнитной системы представлены на рисунках 4 и 5.

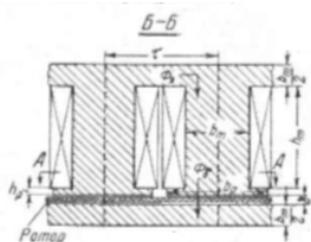


Рис.4. Магнитная система БДПТ с печатной обмоткой [3].

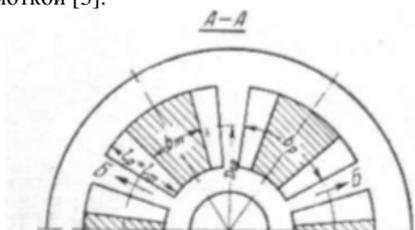


Рис.5. Магнитная система БДПТ с печатной обмоткой [3].

Для данной магнитной системы выбраны неодимовые магниты марки N35. Допустимая магнитная индукция которого:

$$B_c = 1,9 \cdot 10^{-4} (\text{вб} / \text{см}^2)$$

Коэрцитивная сила:  $H_c = 87600(\text{А} / \text{см})$ ,

Воздушный зазор [3]:

$$\delta = 0,03 \cdot D_{cp} = 0,03 \cdot 3 = 0,09(\text{см}).$$

Размеры полюса определяются по следующим формулам [3]:

Ширина полюса:

$$b_m = \frac{\sigma \cdot B_{cp}}{B_c} \cdot \tau = \frac{1.37 \cdot 0.001}{0.00019} \cdot 1.57 = 1.14(\text{см})$$

где,  $\sigma$  - коэффициент рассеяния;  $B_{cp}$  - средняя индукция в воздушном зазоре.

Длина полюса:

$$l_m = 0.268 \cdot D_{cp} = 0.268 \cdot 3 = 0.81(\text{см}),$$

Высота полюса:

$$h_m = \frac{B_r \cdot B_{cp} \cdot \delta}{H_c \cdot B_c \cdot \mu_0 \cdot \alpha_\delta} = \frac{0.000145 \cdot 0.0001 \cdot 0.09}{87600 \cdot 0.00019 \cdot 1.26 \cdot 10^{-8} \cdot 0.9} \approx 0.2(\text{см})$$

В отличие от двигателей обычного исполнения диаметр якоря с печатной обмоткой сильно зависит от напряжения питания при одной и той же мощности машины.

В двигателе с печатной обмоткой якоря диаметр якоря зависит не от сечения проводника, а от его ширины, точнее от минимального шага обмотки.

Проведенные расчеты конструкции БДПТ с печатной обмоткой показывают, что данный вид двигателя имеет меньший размер статора чем БДПТ с цилиндрическим статором и соответственно меньшие размеры всей конструкции ЭМИО (почти в два раза) и меньший вес. А требование минимальной массы является главным требованием к ЭМИО.

Список литературы

1. Бертинов А. И., Электрические машины авиационной автоматики, Оборонгиз, 1961.
2. Дмитриев В. С., Костюченко Т.Г., Гладышев Г. Н., Электромеханические исполнительные органы систем ориентации космических аппаратов. Часть 1: Учебное пособие, ТПУ.-Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013-208 с.
3. Казанский В. М., Основич Л. Д., Малоинерционные электродвигатели постоянного тока с печатной обмоткой на якоре, М.-Л., изд-во «Энергия», 1965,96 с.