

Как видно из рис. 7, при достижении ротором скорости 58 000 об/мин, плотность вихревого тока концентрируется в тонком поверхностном слое и достигает значения в номинальном режиме $1,5 \cdot 10^6$ А/м. При этом плотность тока не превышает значений, рассчитанных для существующих конструкций асинхронных электродвигателей с массивным ферромагнитным ротором схожих габаритов [1-2]. Однако такая достаточно высокая плотность вихревых токов, сосредоточенная в малом объеме может привести к значительному нагреву ротора, что также негативно сказывается на энергетических и рабочих характеристиках.

В результате моделирования установлено, что разгон массивного ферромагнитного ротора возможен до скорости, приемлемой для гироскопического двигателя как носителя кинетического момента. При этом такие рабочие характеристики как вращающий момент и фазный ток в процессе разгона изменяются незначительно, что важно для поддержания стабильности скорости ротора в номинальном режиме работы. Пусковой ток в таком случае не превышает значений, установленных для серийно выпускаемых синхронных и асинхронных гироскопических электродвигателей [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрущев В.В. Электрические микромашины автоматических устройств. - Л.: «Энергия», 1976. – 384с.
2. Куцевалов В.М. Асинхронные и синхронные машины с массивными роторами. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «Энергия», 1979. – 160 с.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учебник для ВУЗов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: «Высшая школа», 2001. – 327 с.
4. Ламмеренер Й., Штафль М. Вихревые токи. Перевод с чешского. – Л., «Энергия», 1967, 208 с.
5. Гироскопические системы: Элементы гироскопических приборов: Учебник для ВУЗов по спец. «Гироскопические приборы и устройства»; Под ред. Д. С. Пельпора. – М.: Высшая школа, 1988. – 432с.

ЗАВИСИМОСТЬ МАССЫ МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ ЧИСЛА ВИТКОВ ЛЕНТОЧНОЙ НАМОТКИ

Самодуров И.Н.

Научный руководитель: Долгих А.Г., ассистент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: ivanovatonya@tpu.ru

THE TORQUE MOTOR MASS DEPENDANCE FROM THE TAPE WINDING COIL'S NUMBER

Samodurov I.N.

Scientific Supervisor: Assistant Dolgih A.G.
Tomsk Polytechnic University
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: ivanovatonya@tpu.ru

В статье приведен расчет массы активных частей моментного двигателя в зависимости от числа витков ленточной намотки. Ленточная намотка представляет собой спирально намотанную электропроводящую ленту на немагнитную гильзу и является заменой традиционной обмотки. Применение ленточной намотки позволяет повысить удельные характеристики двигателя. Активные части моментного двигателя состоят из внешней магнитной системы, внутренней магнитной системы, гильзы и ленточной намотки. Полученные результаты, в совокупности с аналогичными исследованиями развиваемого момента и потребляемой двигателем мощности от количества витков намотки - позволят определить оптимальное количество витков ленточной намотки, при котором статическая добротность

двигателя, представляющая собой отношение развиваемого момента к произведению квадратного корня из величины потребляемой мощности и массы двигателя, будет наибольшей.

The paper presents the calculations of torque motor active parts mass in dependence of the tape winding coil's number. The tape winding is a spirally wound electroconductive tape on the non-magnetic tubular base. The tape winding changes the conventional winding. The application of the tape winding allows increasing the specific characteristics of the motor. The active parts of the motor consist of the outer magnetic system, inner magnetic system, tubular base and tape winding. The obtained results together with the similar studies of torque and power consumption from the tape winding coil's number allow determining the optimum coil's number. In this case the Q-factor of the motor will be the greatest.

Одним из основных параметров моментного двигателя является статическая добротность [1, 2], представляющая собой отношение развиваемого момента к произведению квадратного корня из величины потребляемой мощности и массы двигателя. Данная работа представляет собой поиск зависимости массы активных элементов от числа витков намотки ленточного моментного двигателя, принцип действия и конструктивные особенности которого приведены в ряде источников [3, 4].

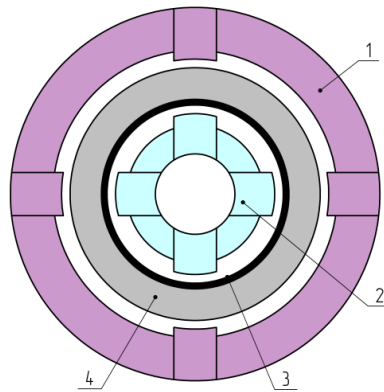


Рис. 1. Активные элементы моментного двигателя: 1 - внешняя магнитная система; 2 - внутренняя магнитная система; 3 - гильза; 4 - ленточная намотка

В некоторых случаях моментные двигатели имеют модульную конструкцию, т.е. двигатель производится в виде отдельных узлов (статора и ротора), которые устанавливаются в конструкции привода по специальным требованиям. Предполагается, что разрабатываемый двигатель относится к подобным. В связи с этим, будем рассматривать массу только активных элементов, к числу которых отнесем магнитную систему возбуждения и ленточную намотку, нанесенную на основание-гильзу.

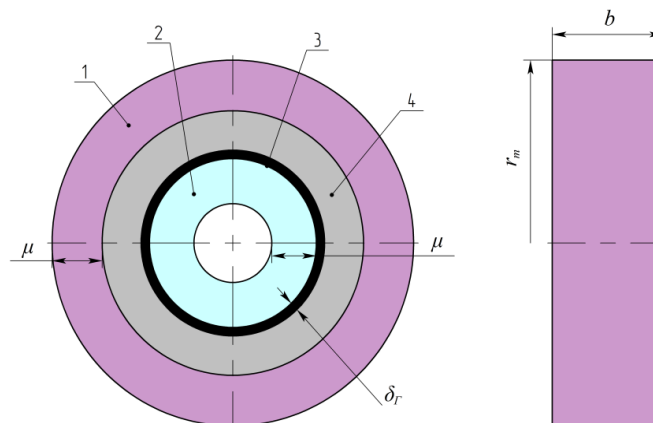


Рис. 2. Упрощенная структура расположения активных элементов

Совокупность активных элементов моментного двигателя с ленточной намоткой представим в виде рис. 1. Упрощенно структура расположения активных элементов показана на рис. 2. Обозначения отдельных элементов соответствует пояснениям на рис. 1.

К числу исходных данных относятся максимальный радиус активных частей двигателя r_m , ширина ленты намотки и размеры магнитных систем в осевом направлении, равные b . Внешняя и внутренняя магнитные системы в радиальном направлении имеют размер μ . Внешний радиус трубчатой гильзы, на которую нанесена ленточная намотка, равен r_z , а ее толщина - δ_z . Механические воздушные зазоры ввиду малости их размеров считаем входящими в величину δ_z . Толщина ленты намотки Δ включает в себя толщины медной фольги и электрической изоляции.

Суммарную массу активных элементов двигателя определяем в виде

$$m(N) = m_{m1} + m_{m2}(N) + m_z(N) + m_n(N),$$

где: m_{m1}, m_{m2} - массы соответственно внешней и внутренней магнитных систем;

m_z - масса гильзы;

m_n - масса намотки;

N - число витков намотки.

Определяем массу внешней магнитной системы:

$$m_{m1} = \rho_m \cdot V_1 = \rho_m \cdot b \cdot \pi \cdot [r_m^2 - (r_m - \mu)^2] = \rho_m \cdot b \cdot \pi \cdot \mu^2 \cdot \left(\frac{2r_m}{\mu} - 1 \right), \quad (1)$$

где: ρ_m - плотность материала магнитной системы;

V_1 - объем внешней магнитной системы.

Переходим к определению массы внутренней магнитной системы. Внешний радиус этой системы:

$$(r_z - \delta_z) = [(r_m - \mu) - \Delta \cdot N] - \delta_z = (r_m - \mu - \delta_z) - \Delta \cdot N.$$

Внутренний радиус внутренней магнитной системы:

$$(r_z - \delta_z) - \mu = (r_m - 2\mu - \delta_z) - \Delta \cdot N.$$

В приведенных выражениях $r_z = (r_m - \mu - \Delta \cdot N)$ - внешний радиус гильзы.

В итоге масса внутренней магнитной системы определяется выражением:

$$m_{m2}(N) = \rho_m \cdot V_2 = \rho_m \cdot b \cdot \pi \cdot \{ [(r_m - \mu - \delta_z) - \Delta \cdot N]^2 - [(r_m - 2\mu - \delta_z) - \Delta \cdot N]^2 \} = \\ 2 \cdot \rho_m \cdot b \cdot \pi \cdot \mu \cdot \Delta \cdot \left(\frac{r_m - 1,5 \cdot \mu - \delta_z}{\Delta} - N \right). \quad (2)$$

Масса гильзы:

$$m_z(N) = \rho_z \cdot V_z = \rho_z \cdot b \cdot \pi \cdot \{ [(r_m - \mu) - \Delta \cdot N]^2 - [(r_m - \mu - \delta_z) - \Delta \cdot N]^2 \} = \\ 2 \cdot \rho_z \cdot b \cdot \pi \cdot \delta_z \cdot \Delta \cdot \left(\frac{2 \cdot (r_m - \mu) - \delta_z}{2 \cdot \Delta} - N \right), \quad (3)$$

где: ρ_z - плотность материала гильзы.

Определение массы ленточной намотки.

Масса первого слоя: $2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot \Delta \cdot b \cdot \rho_n$.

Масса второго слоя: $2 \cdot \pi \cdot (r_1 + \Delta) \cdot \Delta \cdot b \cdot \rho_n$.

Масса третьего слоя: $2 \cdot \pi \cdot (r_1 + 2 \cdot \Delta) \cdot \Delta \cdot b \cdot \rho_n$.

.....

Масса N - ого слоя: $2 \cdot \pi \cdot [(r_1 + (N - 1) \cdot \Delta) \cdot \Delta \cdot b \cdot \rho_n$.

В данном случае ρ_n - плотность материала намотки; $r_1 = (r_z + \frac{\Delta}{2})$ - радиус первого слоя намотки,

лежащего на внешнем радиусе гильзы r_z . Суммируем массы всех N слоев:

$$m_n = 2 \cdot \pi \cdot \Delta \cdot b \cdot \rho_n \cdot \{N \cdot r_1 + [\Delta + 2 \cdot \Delta + \dots + (N - 1) \cdot \Delta]\} = 2 \cdot \pi \cdot \Delta \cdot b \cdot \rho_n \cdot \left[N \cdot r_1 + \Delta \cdot \frac{(N - 1) \cdot N}{2} \right] =$$

$$\pi \cdot \Delta^2 \cdot b \cdot \rho_n \cdot N \cdot \left[N + \left(\frac{2 \cdot r_1}{\Delta} - 1 \right) \right].$$

Учитывая, что

$$\frac{2 \cdot r_1}{\Delta} - 1 = \frac{2 \cdot (r_z + \Delta/2)}{\Delta} - 1 = \frac{2 \cdot r_z}{\Delta} = \frac{2 \cdot (r_m - \mu - \Delta \cdot N)}{\Delta} = \frac{2}{\Delta} \cdot (r_m - \mu) - 2 \cdot N,$$

получаем:

$$m_n = \pi \cdot \Delta^2 \cdot b \cdot \rho_n \cdot N \cdot \left[\frac{2 \cdot (r_m - \mu)}{\Delta} - N \right]. \quad (4)$$

Проводим суммирование всех составляющих массу активных частей двигателя, определенных выражениями (1) - (4). В итоге получаем:

$$m = \pi \cdot b \cdot \mu^2 \cdot \rho_m \cdot \left(2 \frac{r_m}{\mu} - 1 \right) + 2 \cdot \pi \cdot b \cdot \Delta^2 \cdot \rho_n \cdot \left\{ \begin{aligned} & \left(\frac{\mu}{\Delta} \cdot \frac{\rho_m}{\rho_n} \left[\left(\frac{r_m - \mu}{\Delta} - 0,5 \cdot \frac{\mu}{\Delta} - \frac{\delta_z}{\Delta} \right) - N \right] + \right. \\ & \left. + \frac{\delta_z}{\Delta} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_n} \cdot \left[\left(\frac{r_m - \mu}{\Delta} - 0,5 \cdot \frac{\delta_z}{\Delta} \right) - N \right] + \right. \\ & \left. + 0,5 \cdot N \cdot \left(2 \cdot \frac{r_m - \mu}{\Delta} - N \right) \right\} \quad (5)$$

Воспользовавшись выражениями (1), (2), (3), (4) и задаваясь такими параметрами конструкции активных элементов моментного двигателя, как $b = 0,05$ м, $r_m = 0,13$ м, $\mu = 0,015$ м, $\Delta = 10^{-4}$ м, $\delta_z = 0,003$ м, $\rho_m = 7,4 \cdot 10^3$ кг/м³, $\rho_z = 8,93 \cdot 10^3$ кг/м³, $\rho_n = 8,93 \cdot 10^3$ кг/м³ построены графики зависимостей от количества витков катушки каждой из масс, составляющих активную структуру двигателя (рис. 3). График 1 соответствует массе внешней магнитной системе, график 2 – внутренней магнитной системе, график 3 – изменению массы гильзы и график 4 – ленточной катушке. На данном рисунке кривой 5 показан результат суммирования всех масс, составляющих совокупность активных элементов.

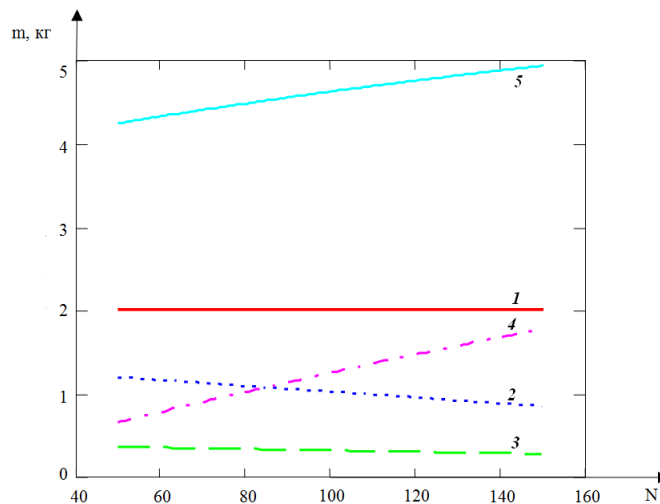


Рис. 3. Масса активной структуры двигателя от количества витков катушки

Полученные в данной работе результаты наряду с аналогичными исследованиями зависимостей развиваемого момента и потребляемой мощности от количества витков катушки позволят определить оптимальное значение витков катушки, при которых статическая добротность двигателя будет наибольшей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демагин А.В. Электрические машины для непосредственного привода приборных систем. -СПб: Научн.-произв. объединение «Азимут», 1991.- 81 с.
2. Информация о продукции ОАО «Машиноаппарат». [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://mashap.maverick.ru/MenuVert/prodinform.html> ,свободный. Загл. с экрана.
3. Моментный двигатель [Текст]: пат. 2441310 Рос. Федерация: МПК H02 K 26/00 Мартемьянов В.М., Долгих (Иванова) А.Г.; заявл. 20.08.2010; опубл. 27.01.2012, Бюл. №3. – 6 с.: ил.
4. A.G. Dolgih (Ivanova), V.M. Martemjanov. Executive unit with an active tape element for management system // 2013 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON): proceedings, Krasnoyarsk, September 12-13, 2013. - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013 - p. 1-3.

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА СВЯЗИ «ГОНЕЦ-М1»
НА БАЗЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛАТФОРМЫ «ЭКСПРЕСС-500»**

Тарлецкий И.С., Зимин И.И., Валов М.В., Яковлев А.В.
АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва»
Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Ленина, 52, 662972
E-mail: tarleckiy@iss-reshetnev.ru

**DESIGN CONCEPT OF THE SMALL COMMUNICATION SATELLITE “GONETS-M1”
BASED ON THE ADVANCED PLATFORM “EXPRESS-500”**

Tarleckiy I.S., Zimin I.I., Valov M.V., Yakovlev A.V.
Academician M.F. Reshetnev Information Satellite Systems
Russia, Krasnoyarsk region, Zheleznogorsk, Lenin str.,52, 662972
E-mail: tarleckiy@iss-reshetnev.ru

В данной статье рассмотрены принципы построения МКА связи «Гонец-М1». МКА создаётся для обеспечения потребителей высокоинформативной, помехозащищенной и непрерывной спутниковой связью, а также для обеспечения возможности самоопределения местоположения потребителей. Основой для построения МКА является новая перспективная космическая платформа негерметичного конструктивного исполнения «Экспресс-500». МКА может выводиться на низко круговую орбиту ($h=1500\text{км}$; $i=82,5^\circ$) как одиночным запуском (в том числе и попутным), так и групповым запуском в составе блока до шести МКА одним пуском.

This paper presents the design concept of the small communication satellite “Gonets-M1». The small satellite is being created to provide the users with the high-quality, antijam and continuous satellite communication, as well as to provide the possibility of self-determination of the users’ location. The basis for the small satellite design is a new advanced unpressurized space platform “Express-500”. The small satellite could be launched into the low circular orbit ($h=1500\text{km}$; $i=82,5^\circ$) by single launch (including launch as a way cargo), as well as by tandem launch as a part of unit of up to six small satellites in a single launch.

В последние годы большое внимание разработчиков космической техники стало уделяться созданию систем связи на низких круговых орбитах (НКО) с орбитальной группировкой состоящей из малых космических аппаратов (МКА). Яркими примерами систем связи на НКО служат такие системы как «Iridium», «Globalstar», «Orbcomm».

МКА обладают определенными преимуществами перед тяжелыми и крупногабаритными КА. Такими преимуществами являются:

- Сокращение расходов и рисков, связанных с разработкой, изготовлением, испытанием и эксплуатацией МКА;