

УДК 621.313

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

А.В. Переверзев, магистрант гр. 1-3Ф-21м, 1 курс  
Научный руководитель В.Н. Овсянников, к.т.н., доцент  
Самарский государственный технический университет  
Г. Самара

Основные задачи при создании электроприводов и, в частности их электромеханической части – моментных двигателей, для авиационного электрооборудования сформулированы в [1] следующей последовательности:

- повышение надежности (вероятности безотказной работы в заданное время) системы;
- снижение относительной массы, уменьшение габаритов и повышение энергетических показателей электрических машин;
- повышение конкурентоспособности изделий, в том числе за счет снижения их себестоимости.

Эти задачи могут быть решены при применении системного подхода к процессу автоматизированного проектирования, заключающегося в создании адекватной математической модели машины, учитывающей массогабаритные, энергетические, стоимостные показатели, характеристики ее надежности. Моментный двигатель (МД) с органическим углом поворота ротора, конструкция которого описана в [2], из-за своих особенностей не может рассчитываться по традиционным инженерным методикам. Несмотря на относительную простоту конструкции МД, его геометрия и основные параметры, как показал опыт проектирования, не могут быть рассчитаны последовательным линейным алгоритмом. В расчете, как правило, требуется несколько итеративных циклов, которые не при всяких сочетаниях параметров являются сходящимися. Кроме того, последовательность расчета во многом определяется выбором критерия оптимальности и набора варьируемых параметров. Но во всех вариантах методик имеется ряд основных блоков, которые определены особенностями моментных двигателей. В первую очередь это особенности, связанные с беспазовой конструкцией кольцевой обмотки статора вынесенной в воздушный зазор. Наряду с естественным увеличением мощности системы возбуждения беспазовый статор, дает возможность избавиться от зубцовых пульсаций момента и повысить электромагнитное быстродействие двигателя за счет снижения индуктивности статорной обмотки.

Высота обмоточного слоя  $h_{oc}$  статора определяется диаметром проводника  $d_{из}$ , количеством слоев обмотки  $n_{сл}$  и толщиной межслойной изоляции  $\Delta_t$ :

$$h_{oc} = n_{сл} (d_{из} + \Delta_t) \quad (1)$$

Немагнитный расчетный зазор  $\delta$  складывается из высоты обмоточного слоя и непосредственного воздушного зазора  $\delta_b$

$$\delta = h_{oc} + \delta_b, \quad (2)$$

причем первое слагаемое является определяющим так, как  $h_{oc}$  в 10...20 раз больше  $\delta_b$ .

Основной параметр системы возбуждения на основе постоянных магнитов – это расчетная высота магнита  $h_m$ , которая при заданных величинах немагнитного зазора и коэффициента насыщения магнитной цепи, прямо зависит от расчетной индукции в зазоре и характеристик магнитов. Для магнитов на основе  $Sm - Co$  (например, КС – 37 или КС – 37А) с прямолинейной характеристикой размагничивания, высота магнита может быть определена выражением:

$$h_{oc} = \frac{0,8 \cdot 10^6 \cdot B_r \cdot B_\delta \cdot \delta \cdot k_\mu}{H_{cb} \cdot (B_r - B_\delta \cdot K_\sigma)} \quad (3)$$

где  $B_r$  – остаточная индукция магнита, Тл;

$B_\delta$  – индукция в воздушном зазоре, Тл;

$k_\mu$  – коэффициент насыщения в магнитной цепи;

$H_{cb}$  – коэрцитивная сила магнита, А/м ;

$K_\sigma$  – коэффициент рассеивания магнита.

Как видно из выражения (3), высота магнита жестко связана с высотой немагнитного зазора  $\delta$ , а, следовательно, и с диаметром проводника обмотки статора. Вследствие этого, область допустимых значений параметров резко сокращается, что часто приводит к невозможности реализации большего числа расчетных вариантов.

Одним из основных требований к МД являются требования стабильности его моментной характеристики в зависимости от угла поворота ротора.

Для обеспечения постоянства момента при неизменном потоке, линейная нагрузка  $A$  на всем диапазоне рабочих углов поворота ротора должна быть строго постоянной. Это обеспечивается рядовой намоткой обмотки статора с постоянным коэффициентом линейного заполнения. Слои обмотки должны быть полностью заполнены обмоточным проводом. Из этого следует условие (4), которое обязательно необходимо включить в качестве ограничителя в расчет

$$d_{из} \cdot W \div K_k = b_{дуг} \cdot n_{сл} \quad (4)$$

где  $W$  – число витков одного полюса статор;

$K_k$  – линейный коэффициент заполнения обмотки статора;

$b_{дуг}$  – длина дуги, занятой обмоткой статора, м.

Расчетная математическая модель моментного двигателя с ограниченным углом поворота ротора должна в первую очередь удовлетворять специфическим требованиям автоматизированного проектирования. Гибкость математической модели должна обеспечивать возможность подключения уточ-

няющих подпрограмм, в частности блоков расчета магнитных полей двигателя.

Если задача проектирования состоит в создании МД с минимальной массой и при этом потребляемая мощность ограничивается только тепловым фактором, то структура программы должна быть построена следующим образом.

В качестве независимых варьируемых факторов предлагается взять: индукцию в воздушном зазоре  $B\delta$ , Тл; число пар полюсов  $p$ ; длину и ширину магнитов  $bm$  и  $hm$ , м; число слоев обмотки якоря  $n_{сл}$ ; потребляемую мощность  $P_1$ , Вт.

Предлагается следующая последовательность расчета.

1. Предварительный расчет длины витка обмотки якоря и определение числа витков на один полюс. Как отмечалось выше, из-за того, что в беспазовых машинах существует детерминированная связь диаметра проводника и магнитных характеристик двигателя уже на этом этапе удастся определить расчетный диаметр машины.

2. Предварительный расчет диаметра индуктора и проверка предварительно принятого значения длины витка и дуги обмотки.

3. Расчет требуемого диаметра провода и уточнение активного и индуктивного сопротивления обмоток. Расчет геометрии статора.

4. Определение высоты магнита по упрощенной методике. В дальнейшем, когда выбран окончательный вариант, проводится детальный уточненный расчет магнитного поля двигателя аналитическими или численными методами.

5. Расчет магнитной цепи и геометрии активной части двигателя.

6. Проверочный тепловой расчет.

7. Расчет массы элементов и суммарной массы машины. Здесь же возможно включение расчета обобщенного параметра качества, который может использоваться при оптимизации.

В случае, если в задании на проектирование требуется, кроме минимизации массы, ещё и минимизация потребляемой мощности, задача строго не разрешима. Это типичная задача многокритериальной оптимизации и решаться она должна методом компромиссов. Например, методом построения обобщенного критерия оптимизации.

Результатами расчетов стали поверхности отклика целевых функций для различных параметров МД. На основе их были проведены оптимизационные расчеты, позволившие добиться заметного снижения массо-габаритных показателей проектируемых машин по сравнению с аналогами.

#### Список литературы.

1. Столов Л.И., Афанасьев А.Ю. Моментные двигатели постоянного тока. – М.: Энергоатомиздат, 1989 – 224с.
2. Овсянников В.Н., Макаричев Ю.А. Метод расчета коэффициента рассеяния беспазового моментного двигателя с постоянными магнитами. Изв. вузов. Электромеханика. №6, 2007.