

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ВНЕШНИМ МНОГОПОЛЮСНЫМ РОТОРОМ

Попов А. С.

Военный Учебный Научный Центр Военно-Воздушных Сил «Военно-  
Воздушная

Академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Москва,  
Россия

Рассмотрены этапы проектирования электрической машины нетрадиционной конструкции: бесконтактный двигатель постоянного тока с внешним многополюсным ротором. Проанализированы недостатки существующих подходов к проектированию, обоснован новый подход к расчету электромагнитного момента на основе метода эквивалентного тока.

Проектирование электрических машин – это сложная многовариантная задача. При ее решении приходится учитывать большое количество факторов. Естественным стремлением является получение по возможности наиболее быстрым путем более к близкого к заданию расчетного варианта. Поэтому актуальным до сих пор является разработка новых методик, подходов к расчету и проектированию электрических машин (ЭМ), учитывая новейшие достижения теоретической и практической науки.

В настоящее время существует множество различных методик проектирования электрических машин, опирающихся на аналитическое представление электромагнитного поля в ЭМ. Методики, ориентирующиеся на подобное представление электромагнитного поля, позволяют получить хорошие результаты при умеренных электромагнитных нагрузках для электрических машин со слабо выраженной нелинейностью сред, синусоидальностью и симметричностью режимов работы. Например, при проектировании генераторов с электромагнитным возбуждением. Методики же проектирования магнитоэлектрических генераторов, имеющих в своем составе высококоэрцитивные редкоземельные магниты, позволяют получить лишь удовлетворительные результаты. Проектирование электродвигателей с возбуждением от аналогичных магнитов по методикам на основе аналитического представления электромагнитного поля приводит к ошибкам порядка 25–50%. Во многих случаях при проектировании электрических машин необходимая точность достигается за счет введения электрических поправочных коэффициентов, которые пригодны для определенного уровня электромагнитных нагрузок, конкретных геометрических соотношений и свойств материалов. Наиболее существенно эти проблемы проявляются при разработке ЭМ нетрадиционной конструкции, таких как электродвигатель с внешним многополюсным магнитным ротором, который находит широкое применение в различных областях и, в частности, в приводе воздушного винта беспилотного летательного аппарата (ЛА). Решение данных вопросов может быть связано, в первую очередь, с более детальным учетом особенностей электромагнитного поля в электрической машине.

Существующие на сегодняшний день методики проектирования электрических машин, используемых в качестве приводов на ЛА, подчинены требованиям уменьшения массы, при увеличении надежности и срока службы изделия. Решение этих задач обеспечивается выбором конструкции, магнитных и изоляционных материалов с учетом особенностей заданного теплового режима. Такие методики имеют общую основу – аналитический электромагнитный расчет и отличаются лишь определением начального приближения параметров машины, потока рассеяния и уточняющих коэффициентов.

При проектировании ЭМ традиционно применяется известная формула Арнольда, которая позволяет увязать геометрические размеры статора с электромагнитными нагрузками и характеристиками магнита в результате перехода от внутренней расточки ротора к размерам статора. В этой формуле для определения размеров исходными

являются электромагнитные нагрузки. В магнитоэлектрических машинах нельзя непосредственно задаться этими нагрузками в связи с тем, что они являются следствием геометрии постоянного магнита, его характеристик и степени использования.

Расчетная мощность, развиваемая проектируемым электродвигателем, определяется по результатам этапа электромагнитного расчета. Этот этап требует в свою очередь определение параметров электрической цепи машины, таких как сопротивление, собственная и взаимная индуктивность, что не всегда является простой задачей. Это обуславливает появление высокой неточности нахождения этих величин и приводит к низкой достоверности проектных решений.

У электродвигателя с внешним многополюсным магнитным ротором механические усилия приложены к зубцам внутреннего статора и к плашкам постоянных магнитов. Суммарный электромагнитный момент, создаваемый электрической машиной и являющийся основной характеристикой электродвигателя, зависит от токов в обмотке якоря, углового положения ротора, соотношений числа пар полюсов ротора и зубцов статора, от величины воздушного зазора, а так же от геометрии и свойств материалов электрической машины.

На основе теории электромагнетизма существуют следующие способы определения электромагнитной силы, основанные на вычислении:

- изменения энергии или коэнергии при малом перемещении подвижного активного элемента;
- тензора натяжений Максвелла;
- объемной и поверхностной плотности электромагнитных сил.

Если магнитное поле электрической машины рассчитано численным методом и получена наглядная картина распределения величины напряженности магнитного поля в области воздушного зазора, то для нахождения электромагнитной силы предпочтительно использовать второй и третий способы, как более точные и менее трудоемкие. Как альтернатива расчета электромагнитной силы, в методике проектирования ЭМ с внешним многополюсным ротором, может быть предложен способ, основанный на методе эквивалентного проводника с током. Этот способ основан на учете степени искривления магнитного потока в области воздушного зазора электродвигателя.

Важным этапом при проектировании двигателей с возбуждением от постоянных магнитов является расчет зубцовых моментов, оказывающих большое влияние на энергетические показатели ЭМ и эффективность системы управления. Метод эквивалентного тока позволяет с высокой точностью определять такие параметры с учетом углового положения ротора.

К электроприводу воздушного винта наряду с основными техническими требованиями (мощность, момент, напряжение питания, тепловой режим) выдвигаются дополнительные, которые характеризуют динамические показатели. Для бесконтактных двигателей постоянного тока системы управления должны разрабатываться совместно с исполнительным устройством и включаться в общий контур проектирования.

Таким образом, общий процесс проектирования электропривода с внешним многополюсным ротором должен включать: традиционные этапы расчета основных геометрических размеров статора и ротора, размеров плашек постоянного магнита, параметров обмоток, этап расчета электромагнитного поля в воздушном зазоре и определение электромагнитного момента на основе метода эквивалентного тока, а также расчет системы управления, с последующим моделированием динамики всей системы с целью определения заданных показателей.