

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРИВОДА АНТЕННЫ  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Кремлёв И.А.

Научный руководитель: Леонов С.В., к.т.н., доцент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: ivankremlyov@mail.ru

**SIMULATION TECHNOLOGY OF ELECTROMECHANICAL DRIVE  
OF THE SPACECRAFT ANTENNA**

Kremlyov I.A.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Leonov S.V.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: ivankremlyov@mail.ru

*Данная статья посвящена описанию этапов моделирования электромеханической части привода антенны космического аппарата. На сегодняшний день в научной литературе практически отсутствует информация об описании этапов моделирования, что подтверждает необходимость появления новых исследований в данной области. Значительное внимание уделяется синтезу оптимальных соотношений размеров и параметров по заданным выходным характеристикам электромеханических систем. Кроме того, в данной статье внимание уделено истории развития высокоточных прецизионных систем. Материалы статьи будут интересны специалистам в области электромеханики, а также информационных компьютерных технологий. В заключении, статья подводит некоторые итоги исследования электромеханической части привода антенны космического аппарата. Результаты исследования расширяют знания о возможном потенциале программных компьютерных комплексов по моделированию объектов.*

*This article describes the steps of the electromechanical actuator simulation of spacecraft antennas. Nowadays, there is almost no information in the scientific literature on the description of the stages of modeling. It confirms the need demand for the emergence of new research in this area. Considerable attention is paid to the synthesis of the optimal ratio of dimensions and parameters for a given output characteristics of electromechanical systems. In addition, this article attention is paid to the history of the development of high-precision systems. Materials of the article will be interesting to specialists in the area of electrical engineering, computer and information technology. In conclusion, the article summarizes some of the results of the study of electromechanical drive of spacecraft antennas. The findings expand the knowledge of the possible potential of computer software systems modeling the objects.*

Современное развитие прецизионные системы и устройства получили еще в конце 70-х годов XX-го века одновременно с созданием космического аппарата «Луч», на котором требовалось независимое и одновременное наведение четырех антенн, две из которых являлись крупногабаритными. Здесь были впервые в отрасли реализованы принципы цифрового управления и были созданы приборы, входными сигналами которых являлись коды скоростей, а выходными - коды текущих углов поворота [1]. Для того, чтобы рассчитать и проанализировать подобные прецизионные системы, нельзя обойтись без современных технологий.

В настоящее время для того, чтобы рассчитать параметры электромагнитных полей двигателей и приводов используются специализированные программные комплексы. Для создания данной модели использовалось программное обеспечение Maxwell от компании Ansys. Оно служит для моделирования двумерных и трехмерных электромагнитных полей, а также для исследования и проектирования датчиков, двигателей, трансформаторов, двумерных и трехмерных моделей, и других электрических и электромеханических устройств [2].

Данная статья связана с исследованием электромеханической части привода антенны космического аппарата. Для исследования динамических режимов работы такого класса электромеханических устройств,

нельзя обойтись без использования специализированного программного обеспечения, которое обладает возможностями моделирования магнитных полей и расчетом его интегральных характеристик.

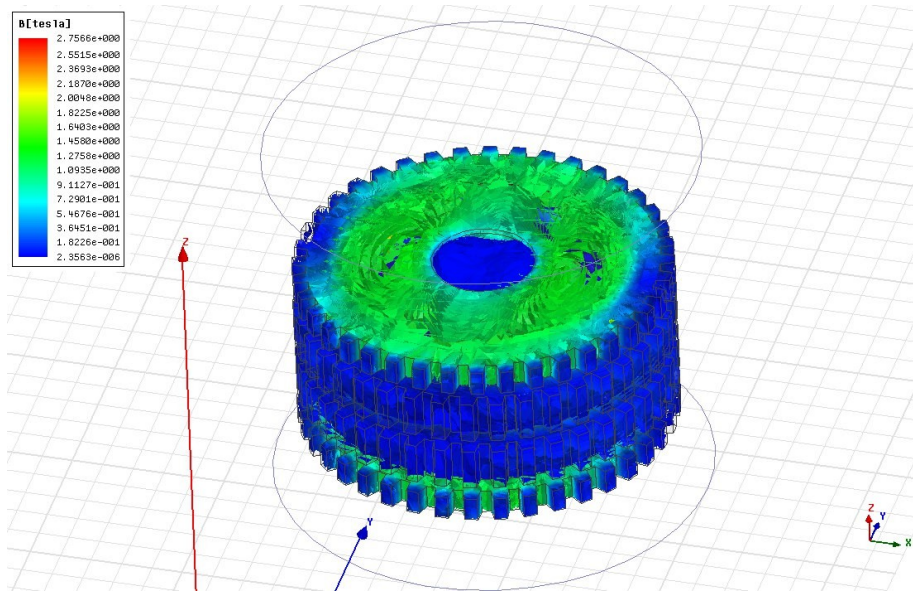


Рис. 1. Картина электромагнитного поля

Главной задачей работы является электромагнитный анализ двигателя, который может быть успешно выполнен с использованием возможностей дополнения RMXprt. Оно позволяет ускорить процесс оптимизации модели и дает возможность более точного описания всевозможных особенностей геометрии зубцовой зоны. Зачастую вопрос исследования магнитных полей различных устройств бывает затруднен задачей точного описания геометрических свойств магнитной системы. Для описания геометрии магнитной системы имеется возможность использования CAD- приложений, а значит, модель может быть выполнена в любой системе автоматизированного проектирования, например в Autodesk Inventor или SolidWorks.

Затем для расчета параметров двигателя были назначены свойства материалов всех твердотельных объектов магнитной системы. Практическим путем установлено, что некорректный подбор материалов значительно искажает картину электромагнитного поля. После анализа влияния геометрических характеристик электродвигателя на его внешние статические характеристики, были определены варианты наиболее эффективного исполнения зубцовой зоны с позиции снижения пульсаций электромагнитного момента.

Немаловажной задачей является синтез оптимальных соотношений размеров и параметров по заданным выходным характеристикам электромеханических систем. С одной стороны - это диктуется дороговизной и дефицитностью используемых материалов, что стимулирует выполнение электромеханических преобразователей энергии с минимальными затратами этих материалов при условии достижения достаточно высоких удельных и энергетических показателей. С другой стороны – непрерывно разрабатываются принципиально новые конструкции, подлежащие детальному исследованию. Например, при проектировании магнитных систем с концентрацией магнитного потока нарушается, как правило, привычная схема инженерного проектирования [3].

Проект электромеханической системы с постоянными магнитами однозначно и полностью определяется совокупностью большого количества данных: конструктивными размерами и обмоточными

данными; активными, изоляционными и конструкционными характеристиками материалов; а также напряжениями, токами, частотой вращения и др.

Обзор применения поисковых методов оптимизации показывает, что большинство из них так или иначе уже апробировано в проектировании. Однако сравнительные оценки затруднены из-за использования их в разработке различных типов электромеханических преобразователей для различных функций цели и ограничений. И все же можно отметить, что если критерий оптимальности задан не в явном виде, наиболее пригодны безградиентные методы.

Для большинства применений постоянных магнитов в составе электромеханических устройств, актуальным с точки зрения энергоэффективности является вопрос их размещения и крепления в подвижных и неподвижных элементах магнитной системы [4]. При этом максимальных значений энергетических характеристик добиваются минимизацией магнитных сопротивлений воздушных зазоров, т.е. расположением, формой и креплением постоянных магнитов. Известно, что наилучший магнитный поток в воздушном зазоре может обеспечить радиально расположенный призматический постоянный магнит. Однако крепление постоянного магнита данной формы не надежно, без применения обечайки, каркаса или болтовых соединений. В связи с этим, было выполнено сравнение потоков рассеяния нескольких призматических магнитов с разным исполнением боковой поверхности для целей наиболее надежного крепления. Если основной магнитный поток магнита принять за 100%, то величина потока в остальных случаях будет 98, 96 и 95% соответственно при условии, что ширина магнита много больше его толщины [5]. Сохранить величину магнитного потока с обеспечением надежного крепления магнита предлагается путем использования паза в боковой поверхности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курбатов Е.М. Современное состояние прецизионных электромеханических систем и устройств разработки и производства ОАО «ИСС». // Форум школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Космическое приборостроение». – Томск, 2013. – Т. 1. – С. 40-41.
2. Пат. 2006142 РФ. Н 02 К 19/06. Синхронный двигатель с электромагнитной редукцией частоты вращения / К.Г. Новоселов, Е.Б. Баталов; Оpubл. 1986.
3. Кремлёв И.А., Гилев В.А., Зеленин М.В. Моделирование синхронного двигателя с электромагнитной редукцией скорости в Ansys Maxwell. // ПМолодежный международный форум «Интеллектуальные энергосистемы». – Томск, 2015. – Т. 2. – С. 211-214.
4. Леонов С.В. Федянин А.Л. Муравлев О.П. Статическая модель герметичного синхронного двигателя дискового типа с магнитосвязанными полюсами. Известия ТПУ Выпуск № 4 / том 312 / 2008.
5. Leonov S.V., Muravlev O.P., Kalaev V.E., Fedyanin A.L. The engineering support of technologies of the power complex / В сборнике: Proceedings – 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology, KORUS-2005 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology, KORUS-2005. Novosibirsk, 2005. С.339-341.