

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА БАЗЕ ВЕНТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С АКСИАЛЬНЫМ ЗАЗОРОМ

С.А. Ганджа

г. Челябинск, ЮУрГУ

OPTIMUM DESIGNING OF ELECTRIC DRIVES ON THE BASE OF AXIAL GAP ELECTRICAL MACHINES

S.A. Gandja

Chelyabinsk, SUSU

Описан программный комплекс проектирования электроприводов на базе вентильных электрических машин с аксиальным зазором, в котором используется многоуровневая оптимизация для широкого класса конструктивных модификаций. Комплекс ориентирован на сквозную технологию проектирования электроприводов этого класса.

Ключевые слова: вентильный электропривод, вентильные машины с аксиальным зазором, многоуровневая оптимизация, сквозная технология.

The program complex of designing of electric drives on the base of axial gap electrical machines is described. In program complex the multilevel optimization for a wide class of constructive types is used. The complex is aimed for through design technology of electric drives of this class.

Keywords: brushless electric drive, brushless axial gap electric machine, multilevel optimization, through technology.

Вентильные электроприводы малой и средней мощности всегда были востребованы как в системах гражданского назначения, так и в изделиях спецтехники. Традиционно для этих целей применяются вентильные электрические машины с радиальным зазором. В настоящее время все чаще для этого диапазона мощностей используются электроприводы на базе вентильных электрических машин с аксиальным зазором (ВМАЗ). Эти электрические машины настолько активно развиваются в последнее время, что можно говорить о зарождении нового класса электроприводов. Объяснить это можно следующими объективными причинами:

– в настоящее время интенсивное развитие получило промышленное производство мощных магнитов с большими значениями остаточной индукции и коэрцитивной силы, что позволило сконцентрировать преобразование энергии в малых объемах;

– современное развитие вычислительных средств и специального программного обеспечения позволяет оптимизировать геометрию ВМАЗ для эффективного использования занимаемого ими габарита. При этом оптимально спроектированные ВМАЗ имеют лучшие удельные массогабаритные и энергетические показатели по сравнению с радиальными электрическими машинами;

– все больше появляется приводов, где ограничение габаритов позволяет применить привода только этого класса.

– ВМАЗ более экономичны при производстве и более надежны в эксплуатации.

Следовательно, все инженерные и научные усилия, направленные на совершенствование анализа и синтеза приводов этого класса, следует признать важными и актуальными.

При проектировании ВМАЗ следует учитывать существующие направления развития в электромашиностроении. Одно из таких направлений – это, так называемое, сквозное проектирование электромеханических устройств, которое ориентировано на безбумажную технологию оформления документации при разработке, производстве и испытании изделия. Следует понимать, что создание такой системы сквозного проектирования представляет собой перспективу развития, но уже сейчас при анализе и синтезе ВМАЗ эти направления необходимо учитывать.

Сформулируем основные требования к системе автоматизированного проектирования ВМАЗ, ориентированной на сквозную технологию.

Во-первых, такая система должна включать все основные конструктивные исполнения этих приводов. Конструктивные модификации ВМАЗ

достаточно подробно описаны в [1]. При этом расчетные модели должны в себя включать:

- режим работы (генераторный, двигательный);
- форму постоянных магнитов (круглую, прямоугольную, сегментную), возможность использовать магнитные материалы с разными свойствами;
- форму обмоточного провода (круглую, прямоугольную), различные свойства проводникового материала (алюминий, медь);
- возможность изменять число фаз, тепловые режимы.

Условно назовем реализацию этих возможностей системы проектирования «развитием по горизонтали».

Во-вторых, при определении оптимальной геометрии ВМЗ в систему проектирования необходимо ввести различные уровни оптимизации. Рассмотрим это требование более подробно. В классической постановке задача однокритериальной оптимизации формулируется следующим образом: для заданных констант и ограничений необходимо выбрать независимые переменные таким образом, чтобы показатель качества имел минимальное или максимальное значение. Как правило, независимыми переменными являются размеры, которые однозначно определяют геометрию изделия. Если мы при поиске оптимума изменяем все независимые переменные, то мы решаем самую сложную задачу полной габаритной оптимизации. Но достаточно часто возникают проектные ситуации, при которых некоторые размеры или группа размеров должны быть фиксированными. Например: заданы наружный или внутренний диаметр при встраивании изделия, заданы габариты и так далее. При этих проектных ситуациях мы имеем уровни частичной оптимизации. При частичной оптимизации может измениться критерий качества. Из практики можно выделить следующие уровни оптимизации:

- полная оптимизация;
- оптимизация при фиксированном наружном диаметре;
- оптимизация при фиксированном внутреннем диаметре;
- оптимизация при фиксированной наружной длине;
- оптимизация при фиксированном наружном и внутреннем диаметрах;
- оптимизация при фиксированных габаритах;
- оптимизация при заданных размерах магнита.

Крайний случай при фиксации всех независимых переменных приводит к проверочному расчету, который вписывается в систему оптимизации как последний уровень.

Возможность реализации различных уровней оптимизации условно назовем «развитием по вертикали».

В-третьих, система проектирования должна позволять реализовывать комплексный подход при анализе и синтезе ВМЗ. Имеется в виду влияние

параметров электрической машины на схему электронного коммутатора и наоборот, параметрическая связь изменения геометрии характеристик электромеханической части. В полной мере эти возможности позволяют реализовать следующие программные комплексы, которые можно встроить в систему проектирования:

- программный комплекс Ansys, реализующий анализ магнитных и тепловых полей по методу конечных элементов;
- графическая среда для трехмерного твердотельного моделирования Solidworks;
- программный комплекс моделирования электронных схем Microcap или аналогичные ему.

Следует отметить, что реализация названных требований не закрывает все проблемы, связанные с проектированием ВМЗ. Поэтому система проектирования должна быть открытой и позволять как достраивать ее структуру, так и постоянно ее совершенствовать.

На кафедре электромеханики и электромеханических систем ЮУрГУ при активном участии автора и ряда коммерческих структур разработан программный комплекс проектирования приводов на базе ВМЗ в среде Delphi, который удовлетворяет перечисленным выше требованиям.

Фрагменты интерфейса этой системы приведены на рис. 1.

К программному комплексу подключены взаимосвязанные между собой стандартные программные пакеты Ansys, Solidworks, Microcap для анализа магнитных и тепловых полей, трехмерного твердотельного моделирования, отладки электронных схем. Фрагменты анализа с применением этих пакетов приведены на рис. 2–5.

Программный комплекс прошел апробацию при разработке около 20 проектов. Среди них:

- генератор для ветроэнергетической установки на 1 кВт и 3 кВт;
- высокомоментный интегрированный привод для запорной аппаратуры;
- высокоскоростной двигатель для холодильного агрегата;
- энергетическая установка для уличного освещения;
- генератор для самолета мониторинга и другие.

Изделия, разработанные с применением программного комплекса, показали хорошую сходимость результатов расчета и эксперимента [2]. Применение разработанных программ позволило резко сократить число циклов моделирования макетных и опытных образцов.

По проделанной работе можно сделать следующие основные выводы:

1. Разработанный как «по горизонтали», так и «по вертикали» программный комплекс оптимального проектирования ВМЗ охватывает широкий круг проектных ситуаций, что позволяет на его базе создать систему автоматизированного проектирования приводов этого класса.

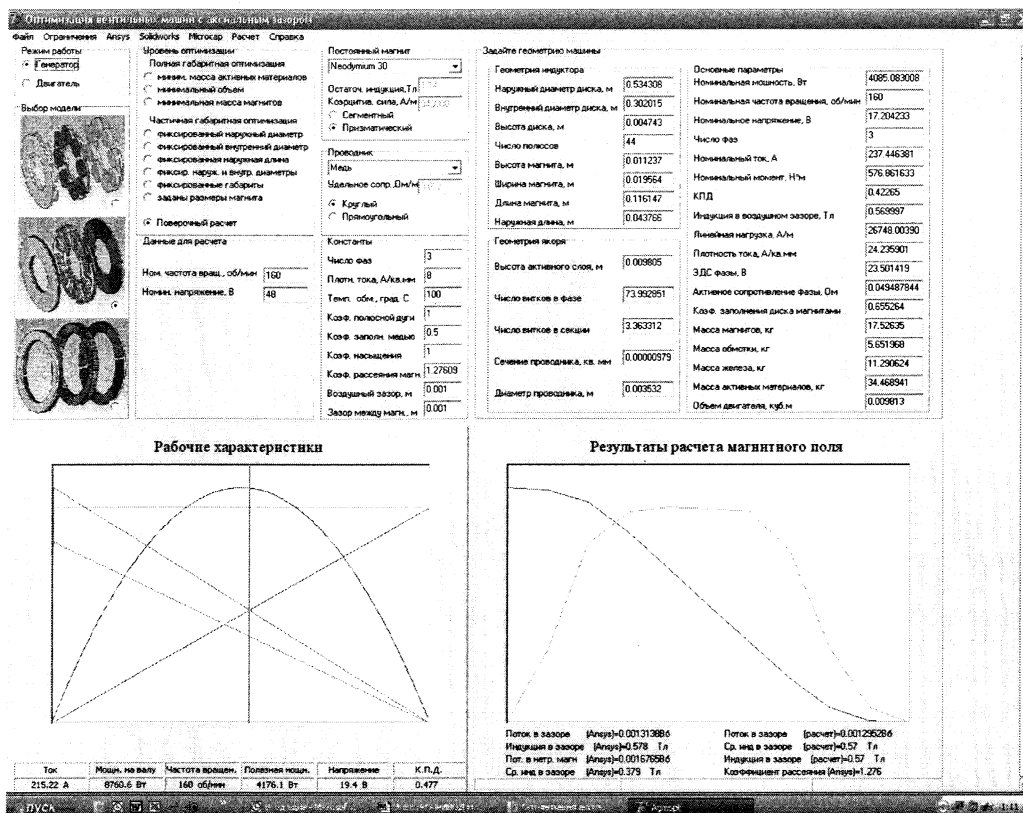


Рис. 1. Интерфейс программного комплекса

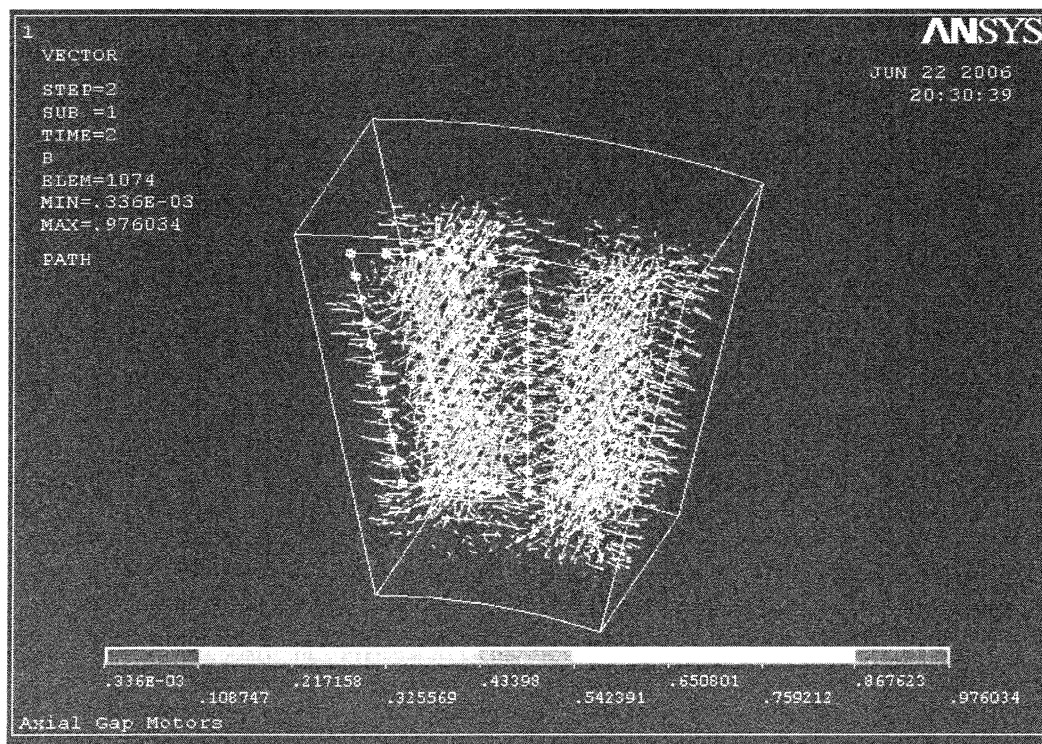


Рис. 2. Анализ магнитного поля в среде Ansys

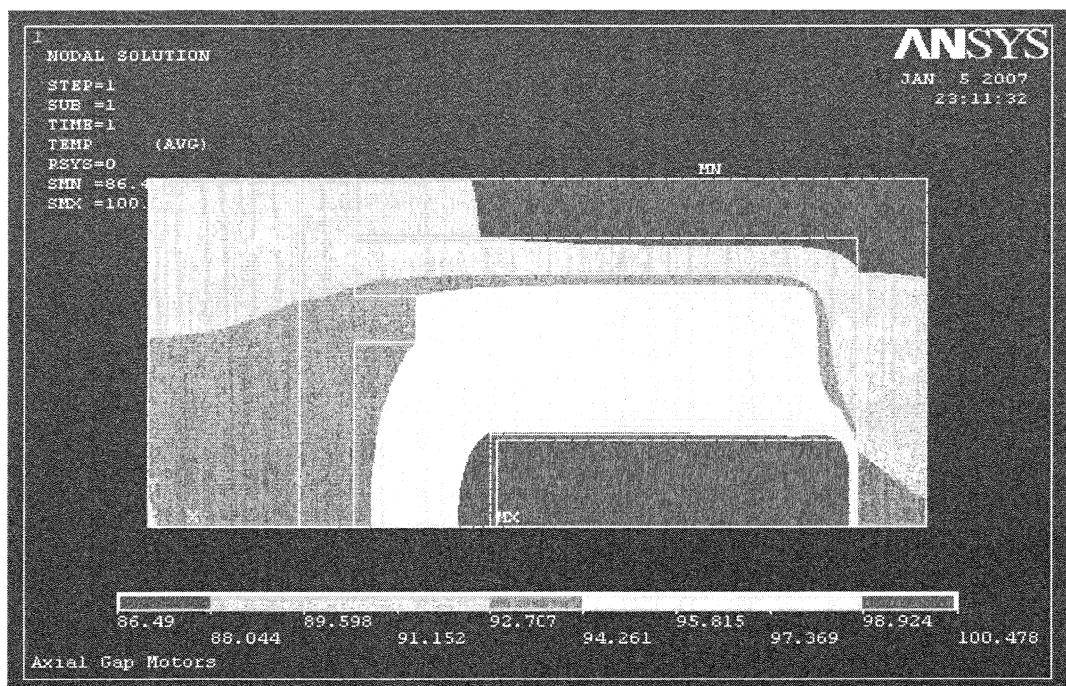


Рис. 3. Анализ теплового поля в среде Ansys

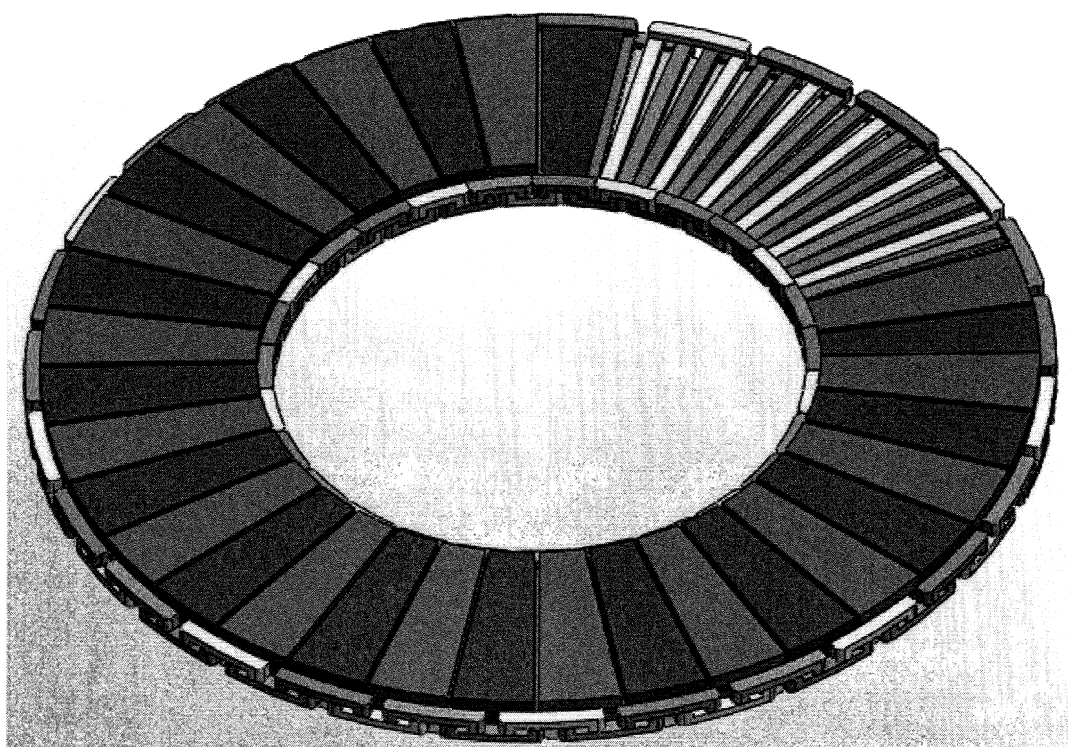


Рис. 4. Трехмерное твердотельное моделирование в среде Solidworks

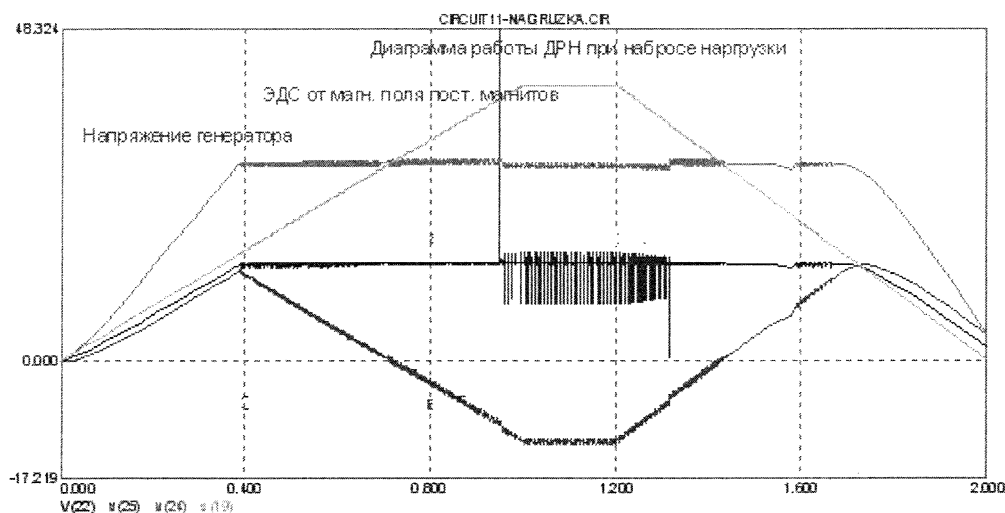


Рис. 5. Анализ схмотехнических решений в программной среде Microcap

2. Разработанный программный комплекс является открытым для доработки и совершенствования его структуры.

3. Подключение к пакету программ Solidworks, Ansys и MicroCap позволяет комплексно решать задачу проектирования ВМАЗ, делая цикл проектирования практически замкнутым, что создает хороший задел для сквозного проектирования.

Литература

1. Ганджа, С.А. Вентильные электрические

машины постоянного тока с аксиальным зазором. Анализ и синтез / С.А. Ганджа // Труды пятой конференции пользователей программного обеспечения CAD_FEM GmbH. – 2005. – С. 372–376.

2. Ганджа, С.А. Применение программного комплекса Ansys для анализа вентильных электрических машин постоянного тока с аксиальным зазором / С.А. Ганджа, М.С. Свиридов, А.А. Бедеркер // Труды шестой конференции пользователей программного обеспечения CAD_FEM GmbH. – 2006. – С. 361–363.

Поступила в редакцию 06.05.2009 г.

Ганджа Сергей Анатольевич. Кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханики и электромеханических систем Южно-Уральского государственного университета, г. Челябинск. Область научных интересов – разработка вентильных электроприводов постоянного тока. Контактный телефон: 8-908-812-5819.

Gandja Sergey Anatolevich. Candidate of technical sciences, associate professor of the Electromechanics and Electromechanical Systems department of South Ural State University, Chelyabinsk. Professional interests – design of brushless electrical machine. Contact telephone: 007-908-812-5819.