



УДК 621.313

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ
ПАКЕТА ANSYS ПРИ КУРСОВОМ
ПРОЕКТИРОВАНИИ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
СТУДЕНТАМИ НАПРАВЛЕНИЯ
«ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»
ПО ПРОФИЛЮ «ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА»
КВАЛИФИКАЦИЕЙ «БАКАЛАВР»**

**THE USING AND ANALYSIS OF THE
ANSYS SOFTWARE APPLICATION AT THE COURSE
DESIGN OF SYNCHRONOUS MOTORS BY
STUDENTS OF "POWER AND ELECTRICAL
ENGINEERING" DIRECTION,
"ELECHTROMECHANICS" PROFILE, "BACHELOR"
QUALIFICATION**

Соколов Николай Владимирович, студент четвертого курса, группа ЭН-420301, каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: bymsokol@gmail.com. Тел.: +7(902)267-17-74

Тихонова Ольга Валерьевна, магистрант каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: olga_tihonova_91@mail.ru. Тел.: +7(904)987-89-25

Мальгин Игорь Вячеславович, аспирант каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: mitrael_1@mail.ru. Тел.: +7(953)601-32-56

Пластун Анатолий Трофимович, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: a.t.plastun@urfu.ru. Тел.: +7(952)725-35-59

Olga V. Tikhonova, Master student, Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: olga_tihonova_91@mail.ru. Ph.: +7(904)987-89-25

Igor V. Malygin, Graduate student, Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: olga_tihonova_91@mail.ru. Ph.: +7(953)601-32-56

Anatoliy T. Plastun, Doctor Sc., Prof., Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: a.t.plastun@urfu.ru. Ph.: +7(952)725-35-59

Nikolay V. Sokolov, fourth year student, Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: bymsokol@gmail.com. Ph.: +7(902)267-17-74

Аннотация: В статье приведены результаты расчета синхронного двигателя классической конструкции в пакете ANSYS. Приведены рисунки построенной и разбитой на конечные элементы модели синхронной машины и распределения магнитного поля по различным участкам магнитной цепи электрической машины. Также дана оценка целесообразности изучения данного пакета при обучении студентов квалификации «Бакалавр» по направлению «Электромеханика».

Ключевые слова: Синхронный двигатель, ANSYS, электромагнитный расчет.

Abstract: Classical design synchronous motor calculation results obtained using ANSYS package are presented in the paper. Pictures of the set and meshed model and magnetic flux distribution along various magnetic circuit areas are shown. ANSYS package studying expediency appraisal for electromechanical bachelor course is also provided.

Key words: Synchronous motor, ANSYS, electromagnetic calculation.

ВВЕДЕНИЕ

ANSYS – универсальная программная система конечно-элементного анализа (МКЭ), существующая и развивающаяся на протяжении последних более чем 40 лет, является довольно популярной у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчетов (CAE Computer-Aided Engineering) и конечно-элементного решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим использование пакета Ansys при выполнении курсового проекта студентом, обучающимся по программе бакалавриата по специальности "Электрические машины". Определим возможности использования данного пакета и проблемы, возникающие при его использовании.

При выполнении курсового проекта, например, по синхронному двигателю заданной мощности и числа пар полюсов, студентам полагается выполнять ручной расчет по известной методике расчета и получить численные значения геометрических размеров магнитной цепи, обмоток и основных энергетических показателей [1]. Студент должен выполнить чертеж общего вида рассчитанной электрической машины. Для выполнения этих задач используются такие пакеты как Mathcad, КОМПАС.

Известны программные пакеты, такие как, например, «MathLab», «EiCad», «ANSYS», «ANSYS Maxwell», которые позволяют проводить расчеты инженерных задач, связанных, например, с расчетом распределения напряженности магнитного поля в магнитной системе электрической машины.

Для получения требуемых характеристик и отображения силовых линий индукции необходимо построить 3D-модель, по уже имеющимся расчетам, например, из пакета Mathcad. Задать геометрические размеры статора и ротора, построить пазы статора, полюса ротора и пазы демпферной обмотки в полюсных наконечниках.

Рассмотрим возможность применения, например, пакета «ANSYS» при курсовом проектировании

синхронного двигателя студентами направления «электроэнергетика и электротехника» по профилю «электромеханика» квалификацией «бакалавр».

ПОСТРОЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

При построении геометрической модели электрической машины следует учитывать, что для автоматического построения сетки конечных элементов программе нужно привязываться к углам среды с разной магнитной проницаемостью (железо - воздух). Таким образом, при построении геометрической модели магнитной цепи статора и ротора использование окружностей приводит к крайне неудовлетворительным результатам.

Чтобы избежать проблем при построении сетки, были использованы (в пазах демпферной обмотки, в построении дуги полюсного наконечника, в железе статора и ротора) вместо окружностей многоугольники, вписанные в расчетные окружности, чтобы сетка могла "привязаться" к искусственно созданным углам.

Следующей проблемой при создании расчетной модели магнитной цепи статора является построение пазов в магнитной системе статора.

Пакет «ANSYS» имеет широкий набор возможностей для построения модели магнитной цепи.

Например, в тех случаях, когда число пазов статора значительно, то можно создать геометрию магнитной цепи статора на одном зубцовом делении статора, а затем многократным повторением с последующим склеиванием создать цельную фигуру. Но как показал наш опыт создания модели магнитной цепи статора, такой способ влияет на качество сетки конечных элементов, создавая в ней искажения, т.к. построение сегмента требует точного задания координат углов сегмента.

По этой причине пазы в статоре, на наш взгляд, целесообразнее "вырезать" из общего объема железа. Для этого предварительно рассчитанный паз строится в единственном экземпляре и размножается по всей длине окружности статора. После чего из этих плоских форм пазов выдавливается «брусочек» по всей длине статора. После чего операцией Subtract из объема статора вырезаются бруски, образуя пазы в магнитной системе статора. Опыт показал, что при таком подходе построения магнитной системы статора обеспечивается автоматическое построение сетки с малым числом искаженных элементов.

Большие сложности с построением магнитной цепи ротора возникают при построении полюса, поскольку кроме самих демпферных пазов, которые выполняются вышеописанным методом, дуга полюсного наконечника образует неравномерный зазор со статором.

Для построения этой дуги со смещенным центром окружности необходимо задавать дополнительную локальную систему координат, от которой мы и строим дугу полюсного наконечника. И от этой же локальной системы координат мы копируем “стержень” для пазов демпферной обмотки, с последующим их вырезанием из полюса и получения готовой конструкции. Добавим, что форма паза демпферной обмотки должна быть многоугольником по уже известным причинам возникновения проблем построения сетки конечных элементов.

После всех манипуляций с полюсным наконечником и полюсом в целом, производится копирование его по числу полюсов, в результате чего мы имеем (в нашем примере) 20 геометрически несвязанных между собой полюсов. Для их объединения в единую конструкцию в пакете «ANSYS» существует стандартная процедура «наложения».

ПОСТРОЕНИЕ СЕТКИ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Прежде чем выполнить расчет модели и получить конечные картины поля необходимо построить сетку конечных элементов. Строится сетка через специальную команду MeshTool. В конкретном случае на стационарном домашнем компьютере построение сетки конечных элементов для всего объема статора, ротора и окружающего воздуха заняло порядка 18 часов. Причем первое построение не завершилось и более того, закончилось преждевременным закрытием программы. Поскольку не были учтены особенности, связанные с геометрией машины, а именно – окружности без явных углов в областях демпферных пазов и наконечника полюса.

На рис.1 одновременно с геометрической моделью полюса и сегмента статора показана рассчитанная сетка конечных элементов.

После процедуры построения сетки необходимо построить обмотки возбуждения, параметры для которых также изначально рассчитаны в пакете Mathcad.

Для выполнения обмоток возбуждения пакет Ansys предлагает использовать специальный макрос, носящий название Racetrack. Иконка окна Racetrack показана на рис. 2.

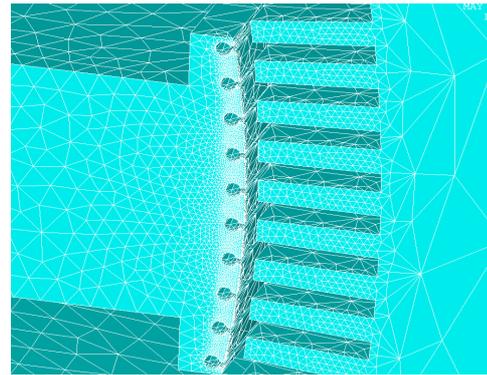


Рис.1. Геометрическая модель полюса с пазами демпферной обмотки, сегмента статора и сетка конечных элементов.

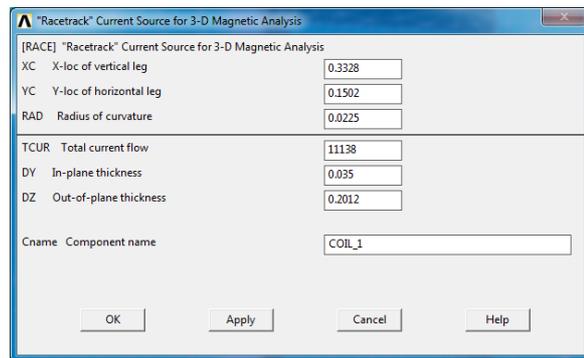


Рис.2. Изображение окна Racetrack

После получения сетки конечных элементов и выполнения автоматического расчета, именуемого в пакете Ansys как Magnetostatic Options and Solution (Опции и расчет стационарного магнитного поля), можно просмотреть результаты расчетов и построить картины поля.

Изменяя масштаб и корректируя свойства отображаемых векторов можно получать более наглядные изображения распределения линий магнитной индукции в магнитной системе рассчитываемого синхронного двигателя (см.рис. 3, 4, 5, 6, 7).

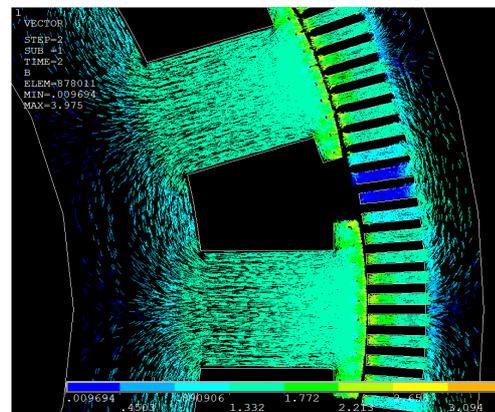


Рис.3. Векторная картина поля распределения линий магнитной индукции в магнитной системе рассчитываемого синхронного двигателя.

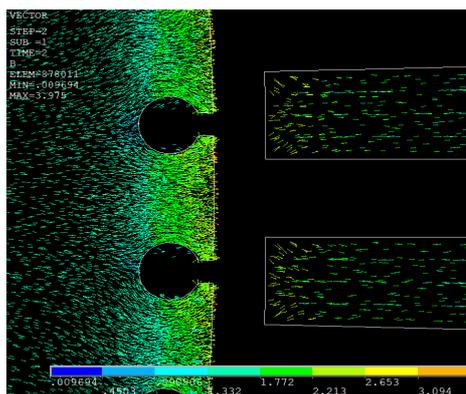


Рис.4. Векторное изображение линий магнитной индукции вблизи пазов демпферной обмотки.

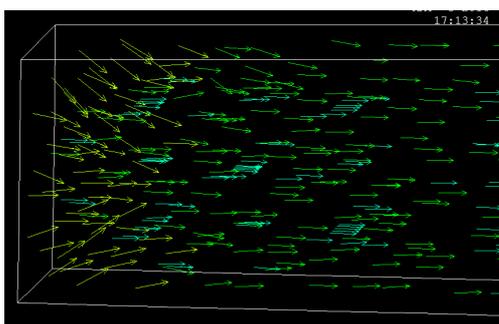


Рис.5. Векторное изображение линий магнитной индукции в зубце статора.

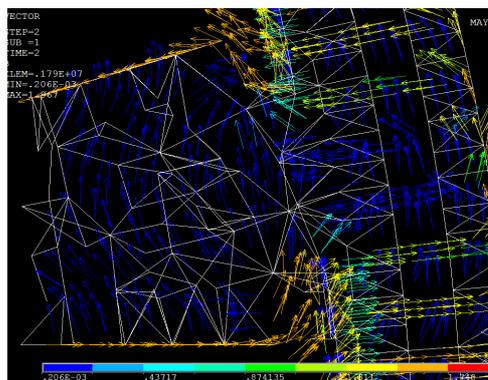


Рис.6. Векторное изображение линий магнитной индукции в межполюсном пространстве. (Белыми линиями отмечены элементы воздуха, разбитые на части при построении сетки)

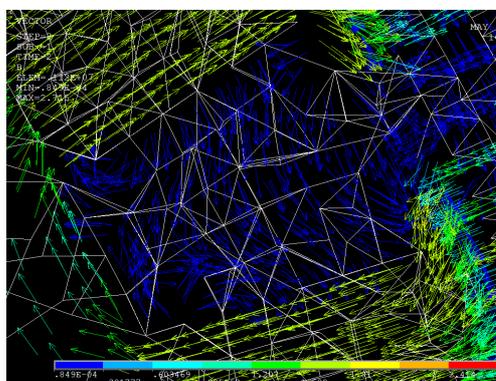


Рис.7. Совмещенная картина векторного изображения полей в межполюсном пространстве и в полюсах ротора.

ВЫВОДЫ

1. Использование пакета Ansys позволяет получить наглядную картину распределения индукций в элементах магнитной цепи и их численные значения.

Пакет Ansys позволяет получать необходимые решения для практически любых типов конструкций электрических машин, как осесимметричных электрических машин, так и электрических машин с несимметричной магнитной системой.

2. На первом этапе освоения пакета требуются большие затраты учебного времени для достижения полученного результата.

3. Если мы хотим обучить студентов квалификации «Бакалавр» и сократить время обучения пользованию пакетом Ansys, то по нашему мнению необходимо предоставлять студенту подробные хорошо иллюстрированные руководства по пользованию пакетом Ansys на русском языке. Необходимо организовывать консультационные пункты специалистов, уверенно работающих в данном пакете, т.к., по нашему мнению пакет Ansys рассчитан на хорошо математически подготовленного специалиста. Наш опыт показал, что при самостоятельном обучении пакет Ansys вызывает массу затруднений и даже может быть непосильным уровнем обучающихся.

4. Исходя из всего вышеизложенного, мы считаем нецелесообразным изучение данного пакета при обучении студентов квалификации «Бакалавр» по направлению «Электромеханика». По нашему мнению при выполнении курсового проектирования целесообразно использовать пакет «ANSYS MAXWELL RMXprt».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Копылов И. П. Проектирование электрических машин : учебник для вузов / под ред. И. П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. М. : Издательство «Юрайт», 2011. 767 с.
2. Буль О. Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Программа ANSYS : учеб. Пособие для студ. высш. учеб. Заведений / Издательский центр «Академия», 2006. 288 с.