

РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НИЗКОСКОРОСТНОГО ТОРЦЕВОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В СРЕДЕ ANSYS

Карпенко Е. В.,

научный руководитель канд. техн. наук Колбасина Н. А.
Сибирский федеральный университет

В низкоскоростном торцевом синхронном генераторе, происходят электромагнитные процессы, влияющие на работоспособность конструкции. Поскольку трехфазный синхронный явнополюсный генератор предназначен для соединения напрямую или через ускоряющую передачу с гидравлической турбиной, влияние этих процессов нельзя недооценивать. Использование программы ANSYS дает возможность смоделировать физические процессы, основываясь не только на базовых постулатах электротехники, но и с учетом конструктивных особенностей.

Задающим параметром электромагнитных процессов генератора является магнитная индукция, зная которую, можно найти и силу, с которой ротор притягивается к статору, причем важным аргументом будет выступать размер рабочего воздушного зазора. Чем больше воздушный зазор, тем меньше магнитная индукция в нем и наоборот. Сила тяжения в свою очередь так же будет зависеть от воздушного зазора. Конструктивно заложенная неравномерность воздушного зазора ведет к увеличению притягивающей силы в месте наименьшей величины зазора, что приводит к возникновению изгибающего момента. Как следствие возникает перекося дисков и увеличивается нагрузка на подшипники [2].

Задача данного исследования – это моделирование магнитного поля торцевого генератора для определения магнитной индукции.

Основными элементами запатентованной конструкции генератора (см. рисунок 1) являются статор, смонтированный в корпусе генератора и ротор, связанный с входным валом машины [1]. Ротор выполнен в виде диска, на котором закреплены постоянные магниты, закрытые полюсными наконечниками, свободная поверхность залита компаундом. Диск ротора соединен ступицей с валом ротора.

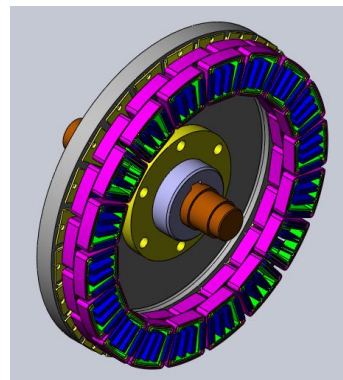


Рисунок 1 – Трехмерная модель генератора

При решении задачи принят ряд упрощений:

- в качестве расчетной модели используется двухмерная развертка трех фаз генератора с сохранением фактических размеров конструкции;
- магниты на роторе не закрыты полюсными наконечниками.

Расчетная модель (см. рисунок 2) активного объема явнополюсной синхронной машины с поперечно намагниченными магнитами представляет собой развертку этой машины. Развертка включает два ряда обмотки зубцов статора по 3 фазы в каждом ряду и ротор с закрепленными на нем магнитами. Между зубцовым слоем статора и ротором конструктивно заложен воздушный зазор σ_p , изменение величины которого и является объектом исследования.

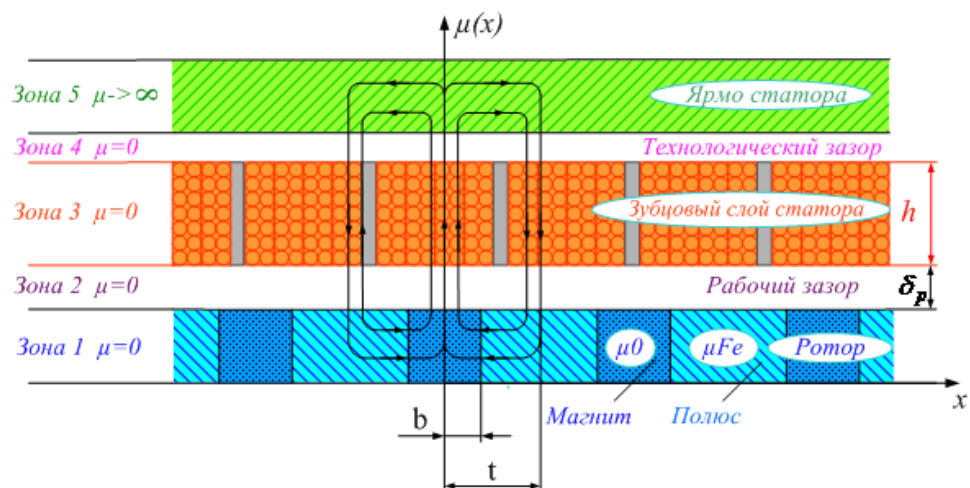


Рисунок 2 – Модель развёртки генератора

Выполнение статического магнитного анализа в среде ANSYS включает в себя следующие этапы:

- выбор типов элементов и задание свойств материалов;
- построение геометрической модели;
- присвоение типов элементов и материалов разным областям геометрической модели, создание конечно-элементной сетки;
- приложение граничных условий и ограничений;
- запуск решения и просмотр результатов.

Для решения плоской задачи выбран элемент PLANE53 - 2-D 8-узловой элемент. Он используется для задания различных областей магнитной задачи: магнитов, обмоток, проводников, воздушного пространства и др.

Элемент PLANE53, как и PLANE13, и PLANE233 имеют одинаковый набор ключевых опций:

KEYOPT(1) – задает ограничения: AZ - векторный магнитный потенциал, VOLT - вольтаж, CURR - электрический ток, EMF - электродвижущая сила;

KEYOPT(2) – задает метод стыкования магнитных и электрических степеней свободы;

KEYOPT(3) – задача в плоскости либо осесимметричная;

KEYOPT(5) – параметр вихревых токов в нестационарных задачах;

KEYOPT(7) – задает выходное значение электромагнитной силы либо во всех узлах, либо только в угловых узлах;

KEYOPT(8) – тип электромагнитной силы: Максвелла или Лоренца.

Выбор типа элемента (см. рисунок 3) осуществляется из меню: Main Menu> Preprocessor> Element Type> Add/Edit/Delete, либо командами ET, KEYOPT.

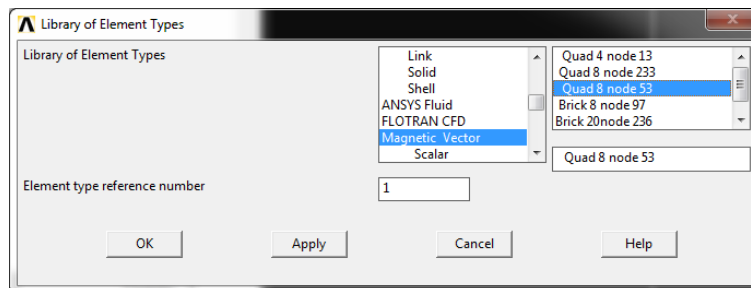


Рисунок 3 – Выбор типов элементов

Подвижные тела не должны испытывать пространственные перемещения в самом материале, для этого используются следующие типы элементов: TARGE169, CONTA171, CONTA172, CONTA175.

Для решения задаются следующие свойства материалов:

MUR (MURX) - относительная магнитная проницаемость,

rho (RSVX) - электрическое удельное сопротивление,

Hc - коэрцитивная сила постоянного магнита, задается по компонентам MGXX, MGY Y, MGZZ и равна корню квадратному из суммы квадратов компонентов по осям.

Выбор свойств материалов осуществляется посредством графического интерфейса или командами параметрического языка APDL, как показано ниже.

```
MP,MURX,1,,1 ! air - воздух
MP,MURX,2,,1 ! coil - обмотки
MP,RSVX,2,,1.7e-8
MP,MURX,3,,300 ! backiron - зубцы статора
MP,RSVX,3,,1e-6
MP,MURX,4,,1.03 ! permanent magnet - постоянный магнит
MP,RSVX,4,,2e-6
MP,MGXX,4,,
MP,MGY Y,4,,-8.7e+4
MP,MGZZ,4,,
```

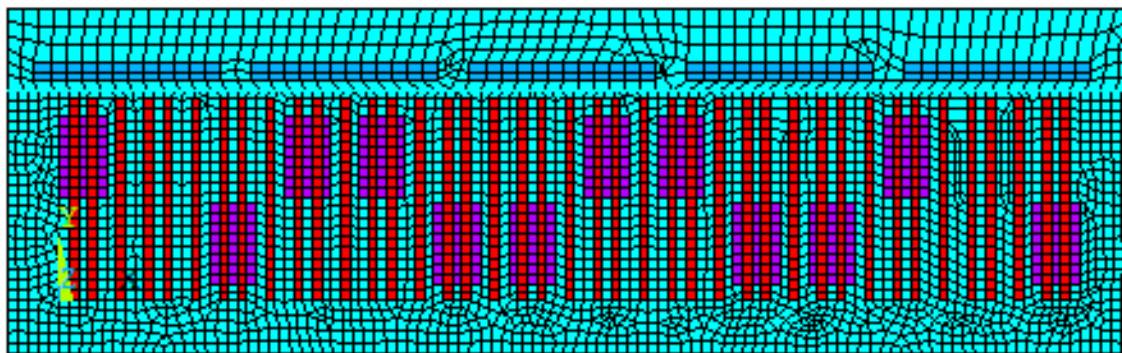


Рисунок 4 – Материалы модели

Контактный регион располагается посередине воздушного зазора. Целенаправленно создаются две независимые сетки. Верхняя область состоит из постоянных магнитов и верхнего воздушного пространства, нижняя область состоит из зубцов статора, обмоток и нижнего воздушного пространства.

После разбиения сетки, необходимо обозначить границы магнитного потока. Для этого выбираются линии по периметру модели и узлы, принадлежащие линиям. Диалоговым окном из меню Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Magnetic> Boundary> VectorPot> Flux Par'l> On Nodes можно задать границы потока.

В обмотках указываются направление и плотность тока, равная $J_S = \pm 5e6 \text{ A/m}^2$. Для плоской задачи плотность тока задается только по координате Z. Положительное значение плотности тока свидетельствует о направлении +Z, отрицательное значение – в направлении -Z (огигающее направление).

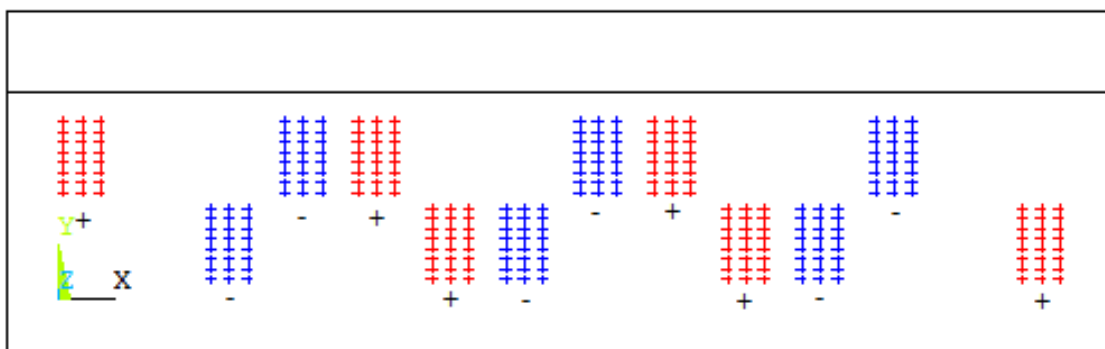


Рисунок 5 – Направление тока в обмотках

Плотность тока, как правило, задается на элементах из меню Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Magnetic> Excitation> Curr Density> On Elements или командой BFE.

После запуска программы на решение (Main Menu> Solution> Solve> Electromagnet> Static Analysis> Opt & Solv), можно отобразить следующие результаты решения:

Nodal magnetic flux density (BX, BY, BSUM) – индукция магнитного потока;
Nodal magnetic field intensity (HX, HY, HSUM) - напряжённость магнитного поля;
Nodal magnetic forces (FMAG: components X, Y, SUM) – магнитные силы;
Total electric current density (JT) – плотность тока.

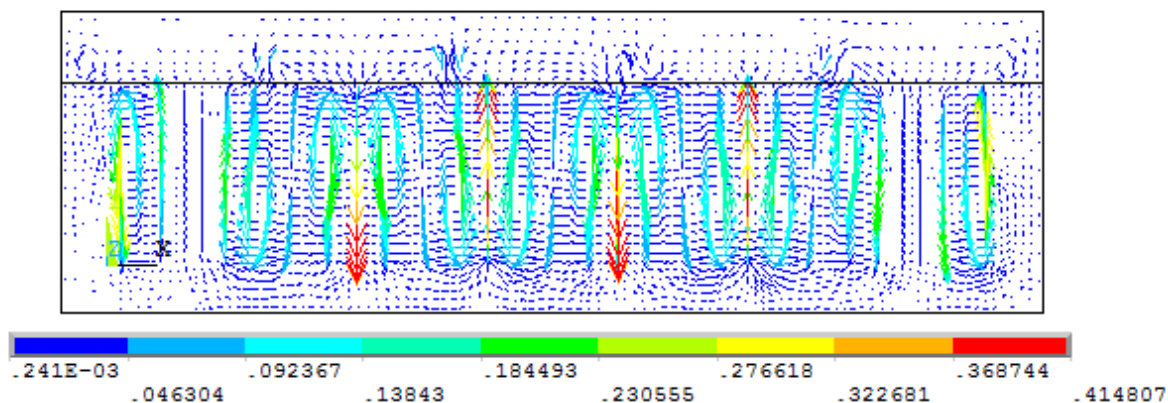


Рисунок 6 – Векторная картина распределения магнитной индукции

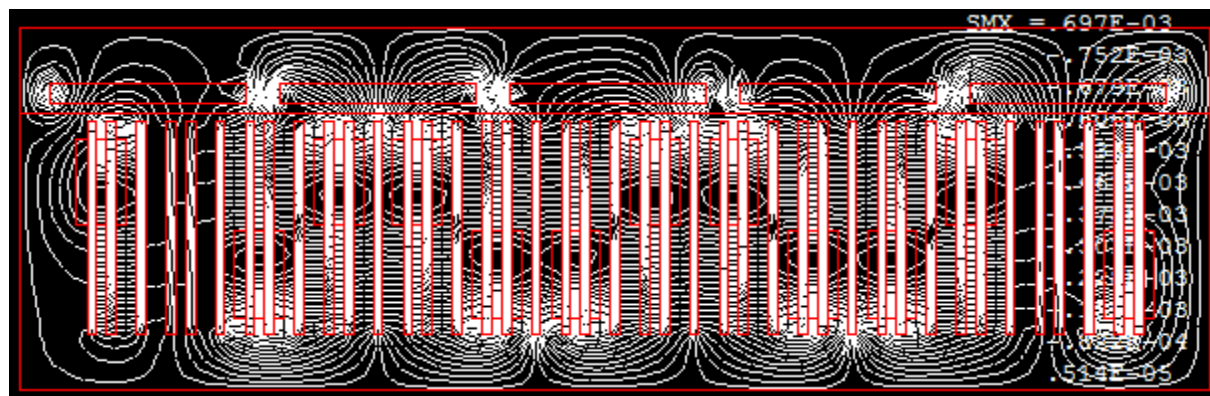


Рисунок 7 – Линии магнитного поля

Результаты расчета магнитной задачи в программном комплексе ANSYS позволяют отобразить характер распределения линий магнитного поля и оценить величину магнитной индукции ($B_{max} = 0,4$ Тл).

Список использованных источников

1 Патент 2246168 Российская Федерация, МПК7 Н 02 К 21/24 / Торцевая электрическая машина / А. Л. Встовский, М. П. Головин и др.; заявитель и патентообладатель Краснояр. гос. техн. ун-т. – № 2003123588/09; заявл. 24.07.03; опубл. 10.02.05, Бюл. №2. – 6 с.: ил.

2 Федий, К.С. Анализ и расчет синхронных машин с возбуждением от постоянных магнитов / К.С. Федий, А.Л. Встовский // Оптимизация режимов работы электротехнических систем. Межвузовский сборник научных трудов. Красноярск ИПЦ КГТУ. – 2006 г.