

**Т.В. ПАРФЕНЮК**, НТУ «ХПИ» (г. Харьков)

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВОГО СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ**

Наведено методику визначення залежностей потокозчеплень та електромагнітного моменту тягового синхронного двигуна за результатами розрахунку магнітного поля методом кінцевих елементів.

A method is resulted of determination of dependence of flux linkage and electromagnetic moment of hauling synchronous engine as a result of computation of magnetic field by the method of eventual elements.

В настоящее время на железных дорогах Украины проводится комплекс мероприятий по повышению качества и увеличению объема пригородных перевозок на железнодорожном транспорте. Актуальным направлением этой работы является создание отечественного мотор-вагонного подвижного состава для малонагруженных участков перевозок так называемые рельсовые автобусы и повышение энергосбережения и снижение затрат на железных дорогах.

Основной проблемой существующей на данный момент является выбор типа тягового привода для такого подвижного состава, обеспечивающего необходимый уровень энергоэффективности при минимальных эксплуатационных издержках.

В работах [1,2] проведен анализ существующих и перспективных типов электромеханических преобразователей энергии для подвижного состава. Одним из перспективных типов является преобразователь на базе синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов.

Однако в настоящее время для создания тяговых приводов на базе синхронных тяговых двигателей с возбуждением от постоянных магнитов отсутствуют обобщенные модели привода в целом, позволяющие проводить моделирование переходных и аварийных режимов привода. Для создания такой модели необходимо разработать модель тягового синхронного двигателя, параметры которой отражали состояние магнитной системы в различных режимах ее работы

Цель работы: разработать методику определения зависимостей потокозчеплений фаз обмоток статора и электромагнитного момента по результатам расчета магнитного поля методом конечных элементов.

Для решения поставленной цели предлагается провести комплекс цифровых экспериментов по определению электромагнитного момента и потокозчеплений обмоток статора тягового двигателя.

Цифровой эксперимент проводится путем расчета магнитного поля тягового двигателя методом конечных элементов при заданном положении ротора двигателя и двух заданных токах фаз статора. Предлагается проводить расчет в двумерной постановке задачи с использованием программного комплекса FEMM [3] и макроса расчета написанного на языке Lua [4]. Так как обмотки статора соединены в звезду то согласно первого закона Кирхгофа ток фазы С:

$$i_C = -i_A - i_B,$$

где  $i_A$ ,  $i_B$  токи фаз А и В соответственно.

На рис. 1и 2 представлена область для расчета магнитного поля методом конечных элементов для тягового двигателя электропоезда мощность двигателя 250 кВт номинальная частота вращения 1200 об/мин, внешний диаметр статора 650 мм длина активного статора 300 мм.

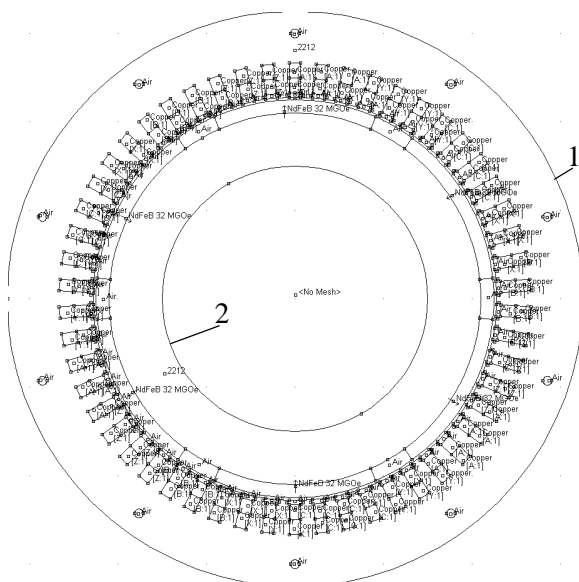


Рисунок 1 – Область для расчета магнитного поля методом конечных элементов. 1 и 2 границы расчетной области.

Установлено граничное условие первого рода по границам 1и 2. Параметры материалов. Сердечники статора и ротора выполнены из электротехнической стали 2212. В качестве постоянного магнита выбран магнит с коэрцитивной силой 883310 А/м и относительной магнитной проницаемостью 1,045.

Обмотка статора двухслойная волновая число витков в секции 1.

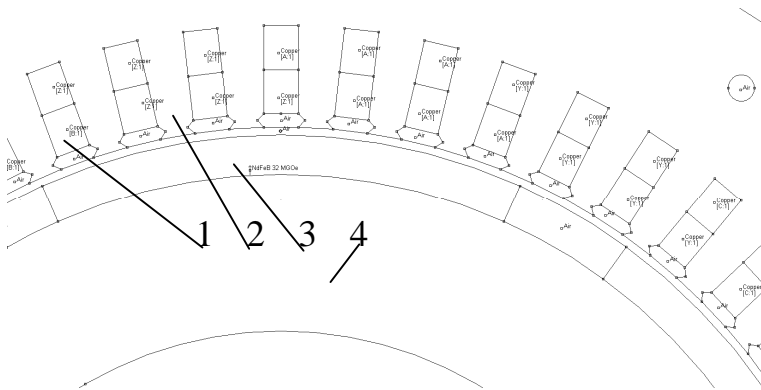


Рисунок 2 – Расчетная область для в зоне воздушного зазора. 1– обмотка статора, 2– сердечник статора, 3– постоянный магнит, 4– сердечник ротора.

На рис. 2 приведен результат расчета магнитного поля при токе в фазе А 600А, в фазе В -600 А и угле поворота ротора  $0^\circ$  в расчетной области, а на рис 3 в зубцовой зоне

По результатам расчета магнитного поля с использованием встроенных алгоритмов интегрирования комплекса FEMM получены значения покосцеплений фаз обмоток статора и электромагнитный момент. Для рассматриваемого варианта потокосцепление фазы А составляет -0,19 Вб, фазы В 0,62 Вб, фазы С -0,37 Вб, а Электромагнитный момент 1311Нм.

Используя предложенный алгоритм определения потокосцеплений предлагается провести полнофакторный цифровой эксперимент. Токи фаз ротора варьируются в пределах от -1000 до 1000 А с шагом 200 А, а угловая координата от 0 до  $120^\circ$  с шагом в  $1^\circ$ . Зависимости потокосцеплений фаз А и В при различных величинах токов в статоре приведены на рис 4 и 5. На рис 6 приведена зависимость электромагнитного момента при различных значениях токов в статоре

Как видно из графиков потокосцепления фаз статора имеют гармонический вид с явно выраженной постоянной составляющей и сдвинуты друг относительно друга на приблизительно на  $120^\circ$  эл. Величина постоянной составляющей потокосцепления изменяется в зависимости от величин токов в фазах статора. Электромагнитный момент двигателя имеет также гармонический характер, однако в его зависимости ярко выражена 17 гармоника момента, которая составляет приблизительно 11..14 % от суммарного значения момента. Это составляющая момента возникла в результате ступенчатой формы МДС статора, которая, в свою очередь, вызвана конструкцией распределенной обмотки.

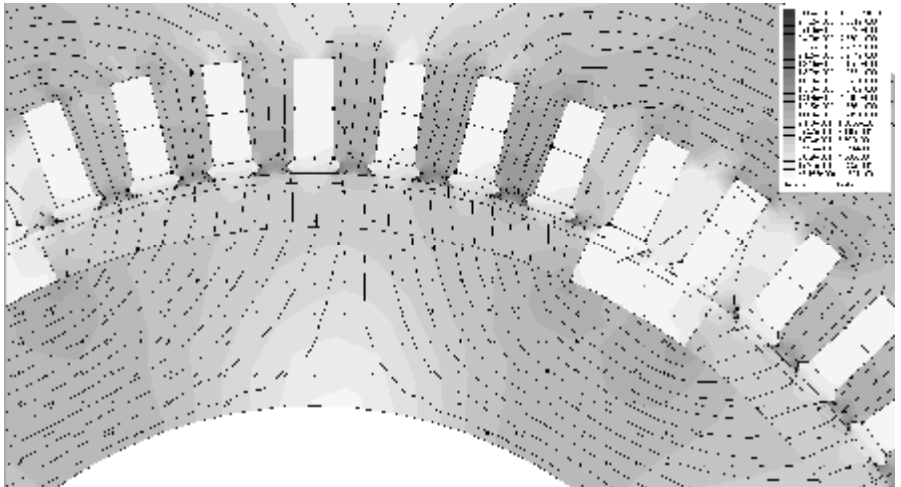
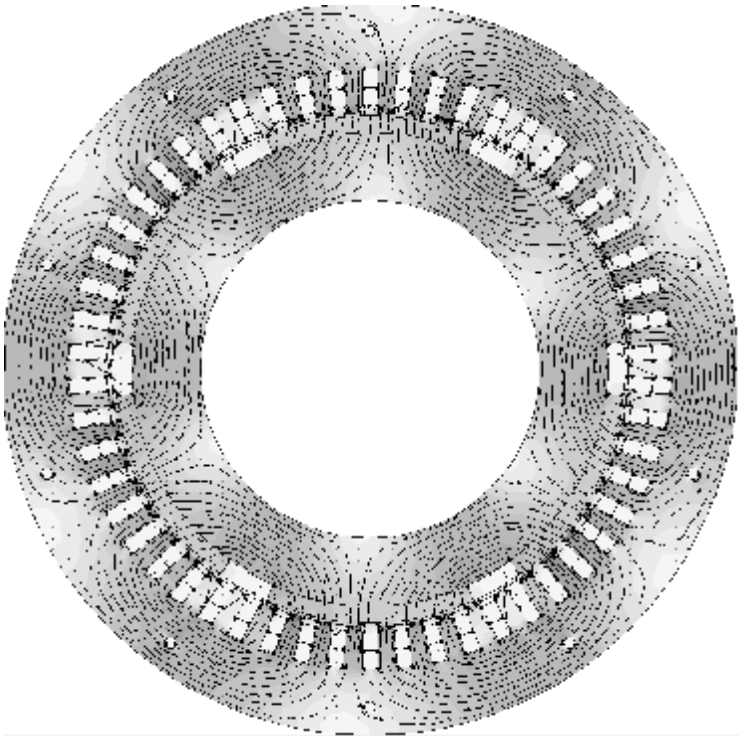


Рисунок 3 – Результаты расчета магнитного поля

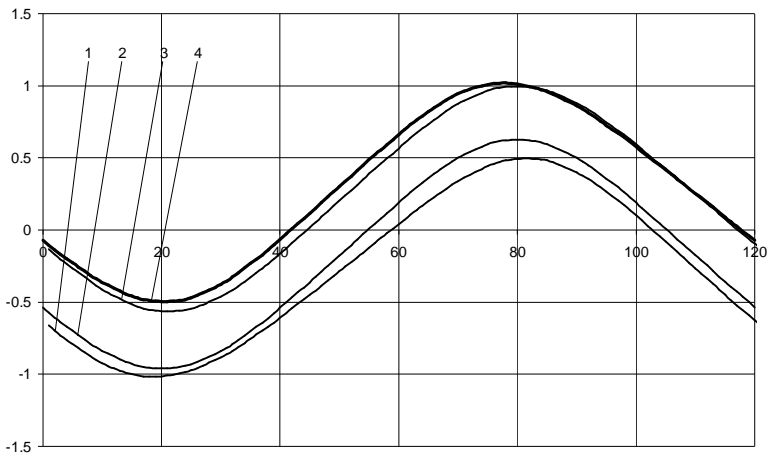


Рисунок 4 – Зависимость попокоосцепления фазы А от угла поворота ротора при токах : 1–  $i_A = -1000$  А  $i_B = -1000$  А, 2–  $i_A = -600$  А  $i_B = 400$  А, 3–  $i_A = 800$  А  $i_B = 400$  А, 4–  $i_A = 1000$  А  $i_B = 1000$  А

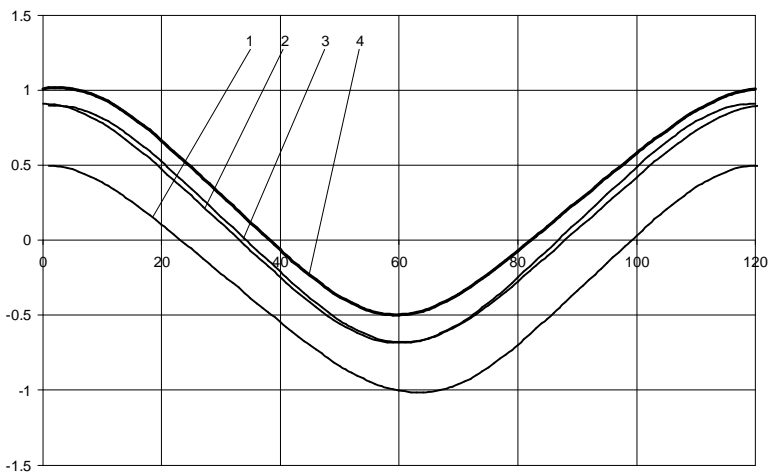


Рисунок 5 – Зависимость попокоосцепления фазы В от угла поворота ротора при токах : 1–  $i_A = -1000$  А  $i_B = -1000$  А, 2–  $i_A = -600$  А  $i_B = 400$  А, 3–  $i_A = 800$  А  $i_B = 400$  А, 4–  $i_A = 1000$  А  $i_B = 1000$  А

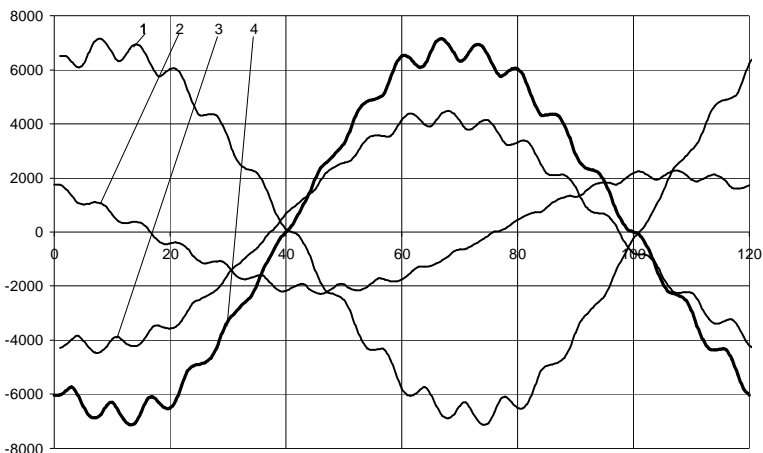


Рисунок 6 – Зависимость электромагнитного момента от угла поворота ротора при токах : 1-  $i_A = -1000$  А  $i_B = -1000$  А, 2-  $i_A = -600$  А  $i_B = 400$  А, 3 -  $i_A = 800$  А  $i_B = 400$  А, 4-  $i_A = 1000$  А  $i_B = 1000$  А

**Выводы.** 1. Предложена методика определения зависимостей потокоцеплений фаз статора и электромагнитного момента тягового синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов по результатам расчета магнитного поля методом конечных элементов в среде FEMM. 2. Зависимость электромагнитного момента двигателя от угла поворота ротора имеет гармонический характер, однако в его зависимости ярко выражена 17 гармоника момента, которая составляет приблизительно 11..14 % от суммарного значения момента, что может вызвать вибрации и дополнительные нагрузки в механической части привода. При моделировании электромагнитных процессов в двигателе этот факт необходимо учитывать.

**Список литературы:** 1. Омеляненко В. И. Анализ и сравнение перспективных тяговых электродвигателей. [Текст] / В. И. Омеляненко, Б. Г. Любарский, Е. С. Рябов, А.В. Демидов, Т. В. Глебова // Залізничний транспорт України. – 2008. – № 2/1. – С. 26–31. 2. Омеляненко, В. И. Электродвигатели для перспективного электроподвижного состава [Текст] / В. И Омеляненко, Б. Г Любарский, Рябов Е. С, А. В Демидов, Т. В. Глебова // Локомотив-информ. – 2008. – №1. – с. 16-19. 3. <http://femm.berlios.de> 4. <http://www.lua.org>.

Поступила в редколлегию 18.11.2009