

УДК 621.313

**ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В ДВИГАТЕЛЕ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ПИТАНИЯ**

*Наний В.В., к.т.н., доц., Юхимчук В.Д., к.т.н., проф., Дунев А.А., асп., Масленников А.М., асп.  
 Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
 ул. Фрунзе, 21, 61002, г. Харьков, Украина  
 E-mail: toe@mail.ru*

Проведен анализ распределения магнитного поля в синхронно-реактивном двигателе с катящимся ротором численными и аналитическими методами при питании от трехфазной сети и униполярными прямоугольными импульсами с помощью преобразователя. Полученные результаты позволяют оптимизировать конструкцию магнитопровода двигателя.

Ключевые слова: двигатель с катящимся ротором, высшие гармоники.

**Введение.** В расчете магнитного поля синхронно-реактивного двигателя с катящимся ротором (ДКР) при питании от трехфазной сети необходимо учитывать его особенности. Большинство расчетов магнитных полей базируются на учете 1-ой гармоники токов. Серьезное влияние на магнитное поле оказывают высшие гармоники по двум основным причинам: конструктивная – неравномерный воздушный зазор и электромагнитная – схема включения обмотки статора.

**Анализ предыдущих исследований.** В литературе встречается описание расчетов магнитных полей для большинства типов электрических машин, что не учитывает особенностей конструкции ДКР. В частности, расчет магнитного поля, базирующегося на 1-й гармонике тока, приведен в книге Вольдека А.И. «Электрические машины».

**Цель работы.** Исследование ДКР при разных способах питания и анализ влияния высших гармоник на картину магнитного поля.

**Материал и результаты исследования.** Наиболее благоприятной формой кривой является синусоида: в этом случае электрические машины имеют минимальные потери и наилучшие характеристики. Придать точно синусоидальную форму кривой магнитного потока весьма затруднительно, поэтому желательно, чтобы обмотка даже при несинусоидальном магнитном потоке давала бы кривую магнитного поля, близкую к синусоиде. А для этого необходимо выполнить ряд условий [1].

Несинусоидальный магнитный поток можно представить себе состоящим из основного, изменяющегося точно по синусоиде (поток от первой гармоники) и имеющего заданное для машины число пар полюсов, и наложенных на него также синусоидальных и магнитных потоков высших гармоник.

В машинах, у которых северные и южные полюсы одинаковы, имеют место только нечетные 3, 5, 7, 9 и т. д. гармонические.

В рассматриваемом трехпазовом ДКР третьи гармоники и кратные 3-м уничтожаются благодаря соединению обмотки статора в «звезду».

Аналогичное положение создается для 3-й гармоники, если укоротить шаг на 1/3 полюсного деления. Но в рассматриваемом двигателе это не применимо.

Также имеют место зубцовые гармоники. Радикальным способом борьбы с ними является скос пазов. Но этот метод в данной конструкции ДКР применить невозможно из-за появления составляющих тормозного вращающего момента.

В ДКР зубцовые гармоники могут быть уменьшены за счет применения обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу. В данном случае  $q = \frac{1}{2}$ , т. е. зубцовые гармоники уничтожаются.

Цель работы заключается в том, чтобы приблизить форму кривой магнитного поля к синусоиде с помощью анализа магнитного поля аналитическими и численными методами.

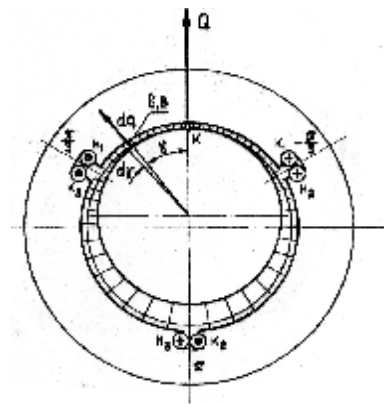


Рисунок 1 – Расчетная область магнитного поля в воздушном зазоре ДКР

Как результат были получены значения магнитной индукции для каждой фазы отдельно в точке касания.

Выражение для мгновенного значения магнитной индукции будет иметь вид [2]:

$$B_k = \frac{i \cdot w \cdot m_0}{d_0 \cdot (1 - e)}$$

где  $i$  – ток обмотки статора;  $w$  – число витков,  $d_0$  – средний воздушный зазор машины,  $e$  – эксцентриситет ротора относительно статора.

Для положения, изображенного на рис. 1 и на основании формулы для  $B_k$ , можем записать для первого зубца:

$$B_l = \frac{B_{km} \cdot \sin \omega t (1 - e)}{1 - e \cdot \cos g},$$

где  $B_{km}$  – максимальное значение индукции в точке касания.

Эти формулы удобно использовать в инженерных расчетах в различных вариантах ДКР с учетом высших гармоник.

Как уже было упомянуто выше, гармоники, кратные трем, мы не учитываем, остаются только гармоники следующих порядков: 5, 7, 11, 13 и 15.

Как показывает анализ, значительное отрицательное влияние оказывает сумма 7, 11 и 13 гармоник (рис. 2). Имеющие место искажения формы тока автоматически передаются на вал машины, что приводит к появлениям дополнительных вибраций и, как следствие, к уменьшению основного момента.

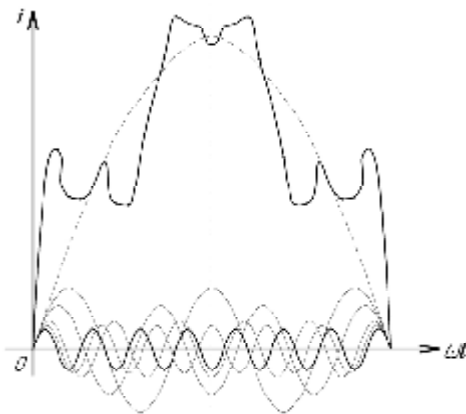


Рисунок 2 – Гармонический состав кривой тока в обмотке

Если теперь рассмотреть питание обмоток ДКР униполярными прямоугольными импульсами в сердечнике, показанном на рис. 3, с помощью преобразователя [3] и рассчитать магнитное поле

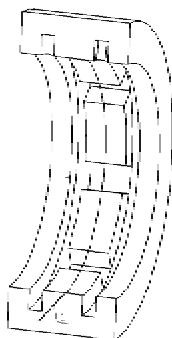


Рисунок 3 – Фрагмент сердечника статора

методом конечных элементов, то получим следующие картины поля в продольном и поперечном разрезе машины (рис. 4 - 6). При исследовании магнитного поля важную роль играет конструкция магнитопровода двигателя. Это связано с тем, что в ней силовые линии магнитного поля имеют возможность распространяться в двух плоскостях: продольной и поперечной.

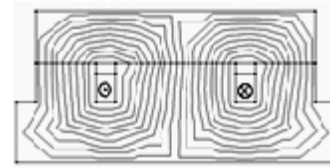


Рисунок 4 – Изображение картины магнитного поля в продольном сечении

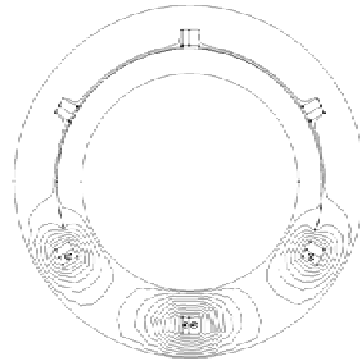


Рисунок 5 – Картина магнитного поля при согласном включении обмоток статора

Расчет магнитной системы при поперечном сечении позволяет учитывать выход магнитных силовых линий двух катушек, расположенных в одном пазу. Если ток в этих катушка протекает согласно, т.е. его направление одинаково, то это вызовет поперечный магнитный поток, если же катушки включены встречно, то произойдет взаимовычитание потоков и такое включение не даст поперечного магнитного поля, а образует продольные силовые линии (рис. 5). Наличие этой неоднозначности приводит к тому, что поля, рассчитываемые в FEMM, должны быть в продольной плоскости. Иначе получим неадекватную картину распределения магнитной индукции. Т.о. на рис. 7 представлен график распределения магнитной индукции не для всей картины магнитного поля, а только для значений индукции, которые находятся в расчетной области поперечного сечения.

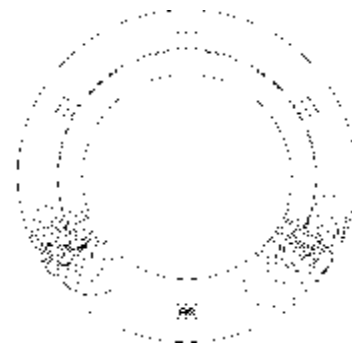


Рисунок 6 – Картина магнитного поля при встречном включении обмоток статора

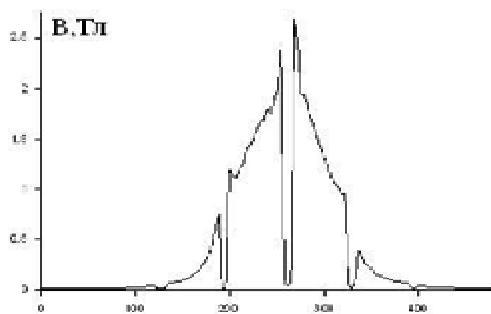


Рисунок 7 – Распределение магнитной индукции в воздушном зазоре машины в поперечном сечении

Наличие магнитного потока, который распространяется в продольной и поперечной плоскостях зависит от порядка включения катушек обмотки (рис. 4, 5).

Получение полной картины магнитного поля в настоящее время реализуется с помощью численных методов (метод конечных элементов), которые реализуются в таких программах как FEMM, ANSYS и MAXVELL, на основании чего удобно проводить оптимизацию конструкции магнитопроводов.

**Выводы.** В результате численно-аналитического исследования магнитного поля в двигателе с катящимся ротором получили картину распределения магнитной индукции в продольном и поперечном сечениях ДКР, а также гармонический состав кривой тока в обмотке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1980 – 928 с.
2. Наний В.В., Юхимчук В.Д., Мирошниченко А.Г., Дунев А.А. Влияние конструкции вентильного двигателя с катящимся ротором на параметры его магнитного поля // Вестник НТУ «ХПИ» Сборник научных трудов № 25, 2007 С. 62-65.
3. Масленников А.М. Устройство для создания дискретно вращающегося магнитного поля // Вестник НТУ «ХПИ» Сборник научных трудов № 41 2009 С. 99-102.

Статья поступила 26.03.10 г.  
Рекомендована к печати к.т.н, доц.  
Прусом В.В.

## ЧИСЕЛЬНО-АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ У ДВИГУНІ З РОТОРОМ, ЩО КОТИТЬСЯ, ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ЖИВЛЕННЯ

*Наний В.В., к.т.н., доц., Юхимчук В.Д., к.т.н., проф., Дунев О.О., асп., Масленников А.М., асп.  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
вул. Фрунзе, 21, 61002, м. Харків, Україна  
E-mail: [toe@mail.ru](mailto:toe@mail.ru)*

Проведено аналіз розподілу магнітного поля у синхронно-реактивному двигуні, що котиться, чисельними та аналітичними методами при живленні від трьохфазної мережі, а також уніполярними імпульсами за допомогою перетворювача. Отримані результати надають змогу оптимізувати конструкцію магнітопроводу двигуна.

Ключові слова: двигун з ротором, що котиться, вищі гармоніки.

## NUMERICAL-ANALYTICAL RESEARCH OF MAGNETIC INDUCTION IN MOTOR WITH A ROLLING ROTOR AT DIFFERENT METHODS OF SUPPLY

*Naniy V.V., Cand. of Sci. (Tech.), Assoc. Prof., Yukhimchuk, V.D., Cand. of Sci. (Tech.), Prof., Dunev A.A., post-grad., Maslennikov A.M., post-grad.  
National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute»  
Frunze St., 21, 61002, Kharkov, Ukraine  
E-mail: [toe@mail.ru](mailto:toe@mail.ru)*

The analysis of distributing of the magnetic field is conducted in a synchronous-reactive motor with a rolling a rotor by means of numeral and analytical methods at a three phase supply network and unipolar rectangular impulses by means of transformer. The results allow to optimize the construction of stator and rotor are received.

Key words: motor with a rolling rotor, higher harmonics.