

УГОЛ НАГРУЗКИ ДВИГАТЕЛЕЙ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ

THE LOAD ANGLE OF THE MOTOR WITH A ROLLING ROTOR

Наний В. В., канд. техн. наук, доцент
НТУ „ХПИ”, г. Харьков, Украина

Abstract

В статье приводится методика определения реального угла нагрузки двигателя с катящимся ротором с помощью компьютерного моделирования магнитного поля двигателя. Дано сравнение 8- и 6-пазовой конструкции двигателя с катящимся ротором с учетом неравномерности его воздушного зазора и анализируется влияние этого зазора на реальный угол нагрузки машины. Приводятся результаты полученных исследований в графическом виде и сравниваются максимальные значения полученных углов для 6- и 8-пазовой модели двигателя

The article presents a comparison 8 - and 6-slot design of motor with a rolling rotor (MRR) subject to irregular air gap and analyzes the impact of this gap on the real machine load angle. The results of these researches are graphically presented and maximum values of load angles for 6 - and 8-slot motor models are compared.

Keywords: the load angle, motor with a rolling rotor, irregular air gap.

ВВЕДЕНИЕ

Рассматриваемый в данном исследовании двигатель с катящимся ротором (ДКР) также относится к типу синхронно-реактивных машин, так как его ротор изготовлен из ферромагнитного материала без обмотки. В настоящее время отсутствуют методики и практические рекомендации по определению диааона изменения угла нагрузки для целей проектирования ДКР.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Ротор в ДКР в соответствии с принципом действия обкатывается по расточке статора, в связи с чем в машине имеет место не равномерный воздушный зазор [1].

Притяжение ротора к статору реализуется силой одностороннего магнитного притяжения (СОМП), которая создается магнитным полем обмотки статора. Эта сила является источником вращающего момента ДКР:

$$M = Q_p \cdot \frac{Dr}{2} \cdot \sin \theta, \quad (1)$$

где Q_p – результирующая сипа одностороннего магнитного притяжения (СОМП) обмотки статора;

θ – угол нагрузки;

Dr – диаметр ротора;

СОМП Q прямо пропорциональна квадрату магнитной индукции в воздушном зазоре.

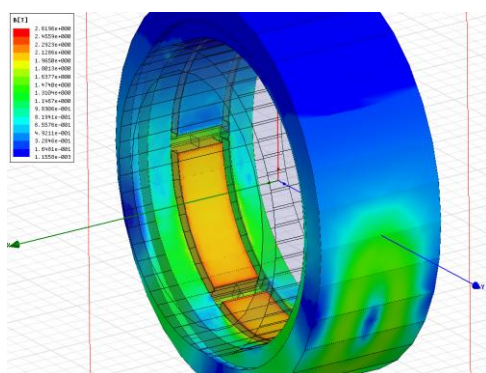
В ДКР угол нагрузки располагается между линией касания ротора со статором и вектором результирующей СОМП.

В нашем случае рассматриваются 6-ти и 8-ми катушечные обмотки, как наиболее эффективные варианты [2]. Питание обмоток осуществляется последовательно следующими импульсами от преобразователя частоты, благодаря чему на поверхности зубцов статора создается магнитная индукция, которая ограничена только уровнем насыщения материала магнитопровода. При этом максимальная результирующая СОМП создается при одновременной работе катушек, которые охватывают 180° внутренней поверхности статора. Для 6-ти катушечного статора это 3 катушки, а для 8-ми – 4. Результирующая СОМП в этом случае определяется как геометрическая сумма сил отдельных работающих катушек.

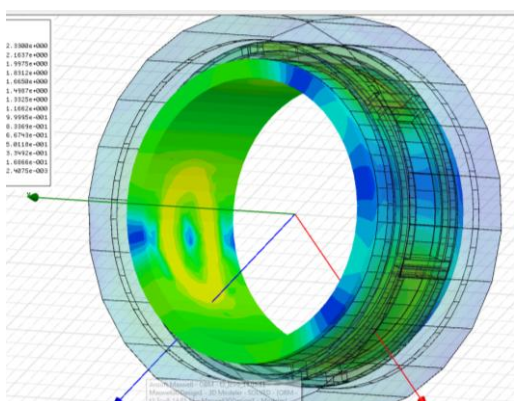
В упрощенном, идеализированном случае предполагалось, что сила магнитного притяжения отдельной катушки (Q_i) направлена перпендикулярно к середине зубца, на котором расположена данная катушка, а ее величина определяется магнитной индукцией для среднего воздушного зазора данного зубца. В реальности, из-за неравномерности воздушного зазора, имеет место сдвиг этого вектора на

определенный угол в сторону уменьшения воздушного зазора, а простое его усреднение не обеспечит правильное определение значения магнитной индукции.

Для определения реального направления сил притяжения отдельных катушек и результирующей СОМП предлагается методика равенства площадей (плоскопараллельная задача) или объемов (3-D задача) воздушного зазора, которая реализуется численным моделированием (метод конечных элементов) с помощью пакета программ MAXWELL 3-D [3].



Фиг. 1 – Модель магнитного поля статора

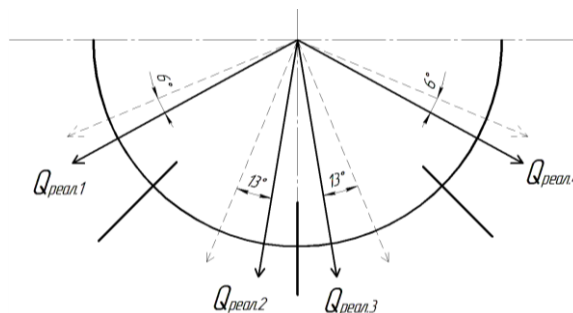


Фиг. 2 – Модель магнитного поля ротора

В ходе расчета был проведен сравнительный анализ 8-пазовой и 6-пазовой конструкций экспериментальных ДКР, отличающихся между собой количеством зубцов статора и величиной эксцентриситета.

На первом этапе был рассмотрен режим, при котором: запитаны катушки половины обмотки статора, магнитное поле статора неподвижно, нагрузка на валу отсутствует ($\theta = 0$). Такой режим работы ДКР, в отличие от других типов синхронных машин, является актуальным - режим удержания.

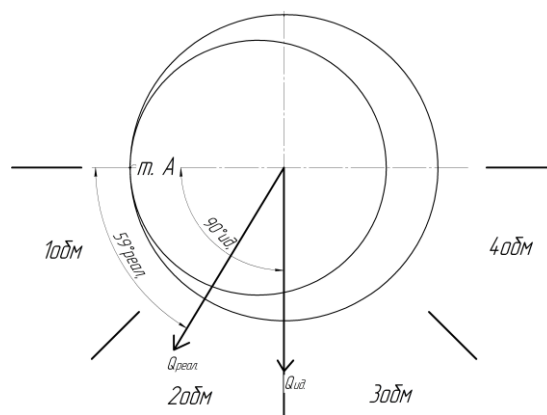
В ходе расчета, площади воздушного зазора были разделены на две равные части с помощью программного пакета КОМПАС и на основании этого были определены реальные направления сил притяжения отдельных катушек.



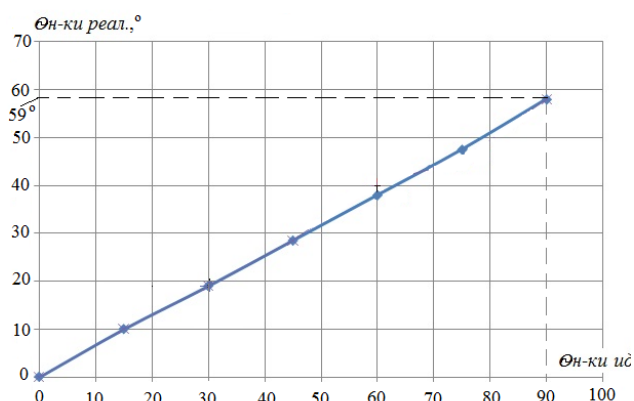
Фиг. 3 – Реальные направления сил притяжения катушек обмотки статора

Как видно из Фиг. 3 произошло смещение векторов отдельных сил в сторону меньшего воздушного зазора и следовательно изменилась величина результирующей СОМП.

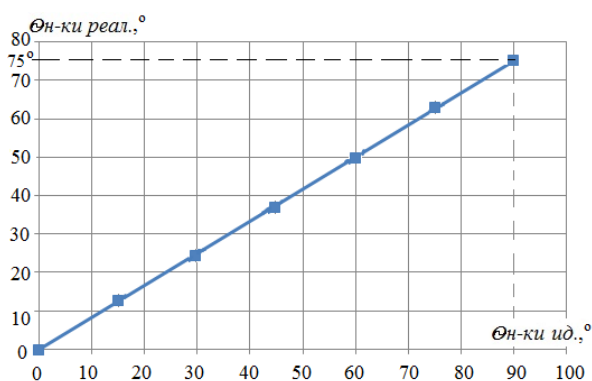
Затем, путем последовательных смещений точки касания ротора со статором из крайнего нижнего положения влево до -90° были определены углы нагрузки двигателя вплоть до максимального значения для данного значения эксцентриситета.



Фиг. 4 – Реальное значение угла нагрузки при эксцентриситете 0,35 мм



Фиг. 5 – Зависимость реального угла нагрузки от идеализированного $\theta_{реал.} = f(\theta_{ид.})$, для 8-ти катушечной конструкции экспериментального образца ДКР ($e=0,35$ мм)



Фиг. 6 – Зависимость реального угла нагрузки от идеализированного $\theta_{реал.} = f(\theta_{ид.})$, для 6-ти катушечной конструкции экспериментального образца ДКР ($e=0,08$ мм)

Полученные данные говорят о линейном характере зависимости реального угла нагрузки от идеализированного.

Расчетные данные были подтверждены экспериментами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Угол нагрузки ДКР, как и в классических синхронно-реактивных двигателях отличается от идеального значения. Он зависит от величины эксцентриситета (воздушного зазора) и магнитной индукции в воздушном зазоре.

Методика 3D моделирования магнитного поля в машине является эффективной для определения угла нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бертинов А.И., Варлей В.В. Электрические двигатели с катящимся ротором. – М. Энергия, 1969.–200 с.
- [2] Наний В.В., Масленников А.М. Зависимость максимального вращающего момента ДКР от количества статорных катушек при дискретном импульсном питании // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. – Харків: НТУ «ХПІ». 2012. – № 28. – 167с. – с.74-78.
- [3] Наний В.В., Дунев А.А. Влияние неравномерности воздушного зазора ДКР на величину угла нагрузки. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Теорія і практика. – Харків: НТУ «ХПІ». 2012. – № 28. –167с. – с.65-69.

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛА НАГРУЗКИ В ДВИГАТЕЛЯХ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ**RESEARCH OF THE LOAD ANGLE IN THE MOTOR WITH A ROLLING ROTOR**

Наний В. В., канд. техн. наук, доцент,
НТУ „ХПИ”, г. Харьков, Украина

Дунев А. А., аспирант,
НТУ „ХПИ”, г. Харьков, Украина

Abstract

The article presents the methodology for determining the dependence of the load angle for motor with a rolling rotor from eccentricity value. Researches are carried out on the basis of comparison of 8-and 6-slots constructions and influence of its eccentricity on the real load angle is analysed. The results of these researches are graphically presented and maximum values of load angles for 6 - and 8-slot motor models are compared.

Keywords: the load angle, motor with a rolling rotor, eccentricity.

ВВЕДЕНИЕ

Двигатели с катящимся ротором (ДКР), как известно, это машины синхронно-реактивного типа с ротором, в нашем случае, в виде ферромагнитного сердечника. Роль вращающейся части в ДКР выполняет полый цилиндрический сердечник ротора, который, обкатывается по внутренней либо внешней поверхности статора. Данная работа является продолжением исследований угла нагрузки в двигателях этого типа [1].

ИЗЛОЖЕНИЕ

Классические синхронно-реактивные двигатели, как известно, в идеальном случае имеют максимальный угол нагрузки 45° , а в реальности он составляет 25° - 30° . В ДКР этот угол составляет 90° и 50° - 80° соответственно.

В предыдущих работах была дана методика определения угла нагрузки для конкретных образцов ДКР.

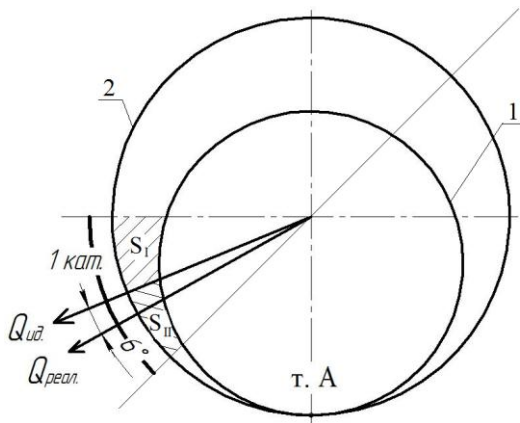
Практика инженерного проектирования требует иметь универсальные зависимости для определения параметров разрабатываемых машин.

В предыдущем исследовании рассматривались конструкции ДКР с 6-ти и 8-ми катушечными обмотками статора и различными эксцентриситетами.

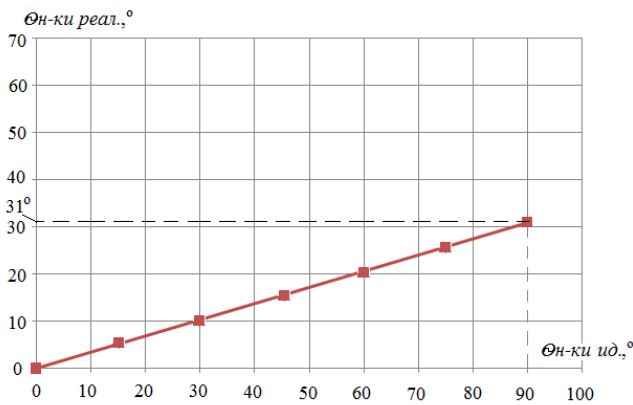
В данной работе был произведен расчет угла нагрузки по методике равных площадей (объемов) воздушного зазора для этих же машин, но с одинаковыми эксцентриситетами равными 0,5 мм (Фиг.1).

При составлении компьютерных моделей принималось, что магнитная индукция зубцов статора ограничена насыщением материала магнитной системы.

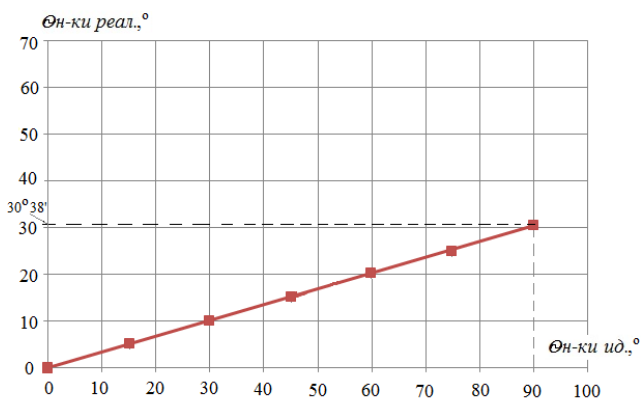
В результате были получены зависимости реальных углов нагрузки от их идеализированных значений, которые представлены на Фиг.2 и Фиг.3



Фиг. 1 – Определение реального направление вектора силы притяжения катушки статора по методу равных площадей (1-ротор, 2- статор)



Фиг. 2 – Зависимость $\theta_{реал.} = f(\theta_{ид.})$, для 8-пазовой конструкции ДКР при $e=0,5\text{ мм}$



Фиг. 3 – Зависимость $\theta_{реал.} = f(\theta_{ид.})$, для 6-пазовой конструкции ДКР при $e=0,5\text{ мм}$

Как видно из полученных зависимостей (Фиг.2, Фиг 3), они линейны и практически одинаковы по значениям. Максимальный

реальный угол нагрузки для 6-пазового ДКР составил – $30^{\circ}38'$, для 8-пазового – 31° .

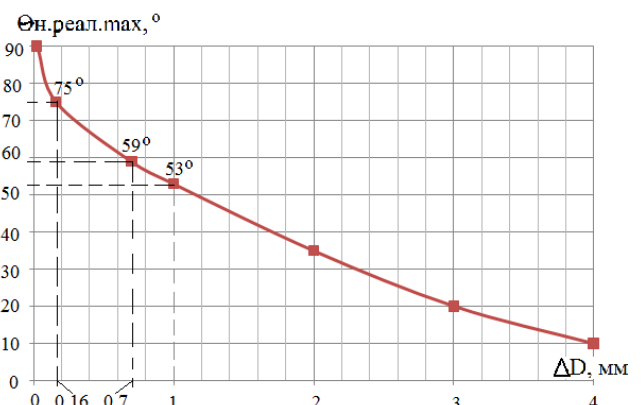
Расхождение в $20'$ угловых минут можно объяснить сложностью расчета 3D модели в среде Maxwell 3D.

Следовательно, можно сделать вывод, что величина угла нагрузки ДКР не зависит от числа катушек обмотки статора, создающей магнитное поле машины, при одинаковых насыщениях магнитопровода и эксцентриситетах.

Преимуществом 8-пазовой модели над 6-пазовой является плавность хода ротора, из-за большего числа катушек, создающих магнитное поле машины [2].

Так же, надо отметить и тот факт, что реальное направление действия результирующей силы одностороннего магнитного притяжения (СОМП), с изменением внутреннего диаметра статора, не меняется, так как вместе с изменением внутреннего диаметра машины, величина его эксцентриситета сохраняется, а пространство между ротором и статором, в области действия одной определенной катушки, изменяется пропорционально вместе с общими габаритам машины.

Так как 6- и 8-пазовая машины по своим свойствам подобны, то результаты расчетов их максимального угла нагрузки можно обобщить и получить зависимость реального максимального угла нагрузки от разности диаметров статора и ротора $\theta_{реал.макс} = f(\Delta D)$ ($\Delta D=2e$) (Фиг.4).



Фиг. 4 – Зависимость $\theta_{реал.макс} = f(\Delta D)$, для 8,6-пазовых конструкций ДКР при токе 2А на 300 витков

Как видно из фиг.4, график зависимости в своей основе линейен, поэтому можно

предположить, что дальнейшее его спадание будет иметь так же линейный характер, но с бесконечным приближением краев графика к оси абсцисс и ординат.

При достаточно малой величине эксцентриситета e , реальный угол нагрузки будет стремиться к идеализированному, т.е. к оси ординат, а при достаточно больших его значениях – всегда к оси абсцисс, т.е. к 0, но никогда его не достигнет. Объяснение этому заключено в принципе действия ДКР – невозможности его работы без зазора и какого-либо угла нагрузки [3].

Данные исследования справедливы для двигателей вертикального исполнения, в которых на формирование силы одностороннего магнитного притяжения не оказывает влияние масса ротора. Данный аспект будет учтен в последующей работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют осуществлять выбор угла нагрузки ДКР для номинального и режима короткого замыкания, определять перегрузочную способность машины и оперировать конструктивными параметрами машины для получения заданных вращающих моментов и улучшения массогабаритных показателей машины.

Для окончательного уточнения значения максимального угла нагрузки необходимо совместить данные результаты с исследованиями по влиянию коэффициента трения ротора о статор на угол нагрузки [1].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Наний В.В., Мирошниченко А.Г., Юхимчук В.Д., Дунев А.А. Угол нагрузки двигателя с катящимся ротором вертикального исполнения. – Вестник НТУ «ХПИ» Тематический выпуск «Проблемы совершенствования электрических машин и аппаратов» – 2008. – №25. – С. 97–99.
- [2] Наний В.В., Масленников А.М. Зависимость максимального вращающего момента ДКР от количества статорных катушек при дискретном импульсном питании // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ «ХПИ». 2012. – № 28. – 167с. – с.74-78.
- [3] Бертинов А.И., Варлей В.В. Электрические двигатели с катящимся ротором. – М.: Энергия, 1969.–200 с.