

УДК 621.313

В.В. НАНИЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков
А.А. ДУНЕВ, аспирант, НТУ "ХПИ", Харьков

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА ДКР НА ВЕЛИЧИНУ УГЛА НАГРУЗКИ

Reviewed studies corner of the motor with a rolling (MRR) on the basis of six - and eight-slot design. The calculation of real loading angles with account of the irregularity of the air gap and build dependencies for the different values of the eccentricity and the current in the windings.

Рассмотрены исследования угла нагрузки в двигателе с катящимся ротором (ДКР) на базе шести- и восьми пазовой конструкции. Проведен расчет реальных углов нагрузки с учетом неравномерности его воздушного зазора и построены зависимости для разной величины эксцентриситета и тока в обмотках.

Розглянуто дослідження кута навантаження в двигуні ротором, що котиться (ДРК) на базі шости- та вісьми пазової конструкції. Проведено розрахунок реальних кутів навантаження з урахуванням нерівномірності його повітряного проміжку і побудовані залежності для різної величини эксцентриситету та струму у обмотках.

Постановка проблемы. Вопросы определения реального направления угла нагрузки в ДКР с учетом неравномерности его воздушного зазора ранее не рассматривались.

Анализ литературы. В работе [1] рассмотрены разновидности ДКР при разных типах конструкции, рассмотрены особенности его работы и описаны его динамические характеристики: вопросы, связанные с определением угла нагрузки не рассматривались. В работе [2] рассмотрено математические выражения для приближенного определения угла нагрузки в ДКР для 50-100 Нм двигателя. Есть необходимость уточнения полученных данных.

Цель статьи. Необходимо рассчитать реальные углы нагрузки для восьми и шести пазового образца ДКР. Сделать сравнительный анализ полученных данных.

Машины синхронно-реактивного типа. Двигатели с катящимся ротором, как известно, это синхронные машины, реактивного типа, с ротором в виде ферромагнитного сердечника без обмотки. Роль вра-

щающейся части у них выполняет ротор, который обкатывается по расточке статора, совершая редукцию скорости и момента, передавая ее на вал.

Классические машины синхронно-реактивного типа (СРД) характеризуются всегда таким параметром, как угол нагрузки, который характеризует отставание или опережение ротора относительно основного магнитного поля, созданного обмоткой статора. Ротор в ДКР – это полый ферромагнитный цилиндр без обмоток, который, как и в синхронно-реактивных машинах увлекается полем статора, имея всегда определенную величину угла нагрузки (рис. 1). Так как в ДКР ротор всегда обкатывается по расточке статора, с постоянным контактом на его поверхности (точка А), то здесь можно говорить о неравномерности воздушного зазора в данной области – "статор-ротор".

В идеализированном случае предполагалось, что сила магнитного притяжения (Q), созданная током обмотки статора, всегда направлена строго посередине зубца машины. В реальности, вследствие неравномерности воздушного зазора, имеет место сдвиг этого вектора силы на определенный угол, смещение которого происходит в сторону меньшего воздушного зазора.

Расчет реального угла нагрузки. Для расчета величины реального угла нагрузки была разработана методика равенства площадей (объемов) магнитного поля в зазоре, которая реализуется компьютерным моделированием. Опираясь на классическую теорию синхронно-реактивных машин можно сказать, что максимальный угол нагрузки у них, до выпадения из синхронизма, составляет 45° , а в действительности эта величина оказывается еще меньше ($27-30^\circ$). ДКР также являются синхронно-реактивными машинами, но максимальный угол нагрузки для них достигает значения 90° , а в действительности $60-80^\circ$ для различных величин эксцентриситета.

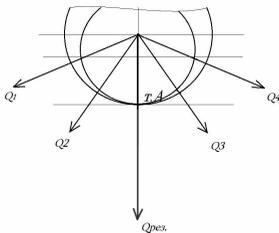


Рис. 1. Направление сил отдельных катушек в ДКР.

В ходе расчета была рассмотрена картина формирования сил при неравномерном воздушном зазоре и определены реальные величины углов нагрузки для шести- и восьми пазового ДКР.

Первый расчет был проведен для восьмипазового макетного образца ДКР с величиной эксцентриситета $0,35$ мм, 300 витках и $2A$ тока в катушке. Расчет магнитного поля в пакете программ Maxwell 3D v.11 позволил судить о неоднозначно-

сти распределения магнитной индукции на поверхности зубцов, в зоне действия катушек. Так как ближе всего к точке контакта (точка А) находится вторая и третья обмотки, то и магнитная индукция на поверхности этих зубцов (поз. 2 и 3 на рис. 2) была более-менее равномерной из-за малого изменения расходящегося воздушного зазора в этих областях.



Рис. 2. Магнитная индукция на поверхности второго и третьего зубцов.

Это подтверждает и математический расчет этой ситуации в среде Maxwell 11v.

Если изобразить развертку этих четырех работающих зубцов, то мы увидим однородность магнитной индукции на их поверхности.

Следовательно, по формуле для определения силы одностороннего магнитного притяжения (ОМП) можно рассчитать силу Q для второго и третьего зубцов:

$$Q = \frac{\pi \cdot B^2 \cdot D_c \cdot L \cdot K_z}{16 \cdot \mu_0}, \quad (1)$$

где B – индукция в воздушном зазоре; D_c – диаметр статора; L – активная длина сердечника статора; K_z – относительная длина зубца статора.

Для нашего случая: $Q = 5111$ Н.

Затем, зная величину этой силы, необходимо определить ее реальное направление.

Воздушный зазор в зоне действия данной второй катушки имеет расходящийся характер, и определить точно его площадь достаточно сложно. Для этого была создана модель в программном пакете КОМПАС v.13 и определены точные ее значения.

Так как, для определения реального направления действия силы ОМП второго зубца необходимо найти баланс этих площадей в этой области, мы воспользовались условием равенства площадей.

А так как сила одностороннего магнитного притяжения всегда обратно пропорциональна величине воздушного зазора, то реальное направление действия вектора силы Q всегда будет смещено в область с меньшим воздушным зазором ($Q \sim 1/\delta$).

После расчетов площадей и определения их баланса в области действия второй катушки, мы получили смещение реального вектора действия силы Q от идеализированного направления на угол 13° .

Проведя аналогичные расчеты для области действия 1-ой катушки, мы получили смещение силы ОМП на 6° .

Так как точка контакта (точка А) равноудалена от катушек 2,3 и 1,4, то, соответственно, и характер направления векторов для них будет одинаковым: для катушки 3 – смещение будет иметь значение в 13° , а для катушки 4 – в 6° (рис. 3.)

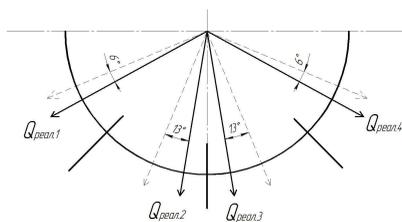


Рис. 3. Реальное направление действия силы ОМП для 8-пазового ДКР.

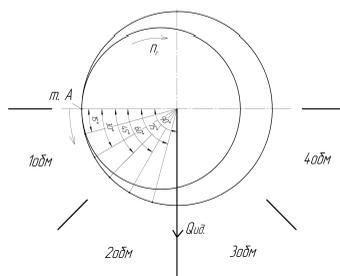


Рис. 4. Расчет реальных углов нагрузки для разных положений точки контакта (от 0° до 90°).

Расчет угла нагрузки при смещении точки контакта. Далее, исследуя режим смещения точки контакта (точка А) по 15° относительно силы действия ОМП $Q_{ид}$, мы получили следующие результаты зависимости реальных углов нагрузки от идеализированных (рис. 4-7).

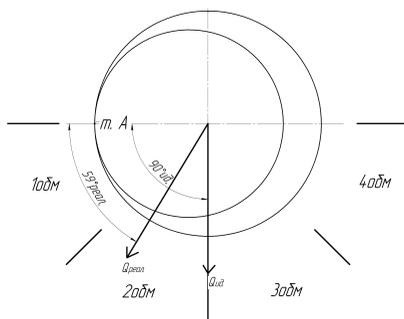


Рис.5. Реальное направление действия силы ОМП при смещении точки контакта относительно $Q_{ид}$ на 90° .

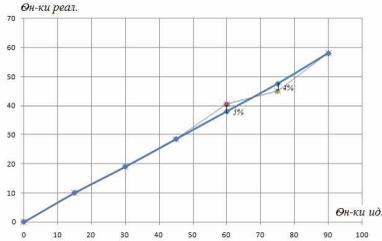


Рис. 6. Зависимость реального угла нагрузки от идеализированного для восьмипазового ДКР при эксцентриситете 0,35 мм и токе 2А.

После проведения целого ряда расчетов для шестипазовой модели ДКР выяснилось, что линейный характер зависимости здесь так же сохраняется.

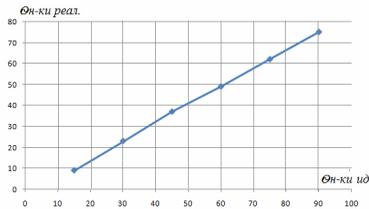


Рис. 7. Зависимость реального угла нагрузки от идеализированного для шестипазового ДКР при 0,08 мм эксцентриситете и токе 2А.

Погрешности в линейности этой зависимости можно объяснить сложностью расчета 3D модели в Maxwell 3D из-за неравномерности воздушного зазора.

Выводы. Таким образом, реальные углы нагрузки ДКР составляют: для восьмипазовой конструкции – 59° , для шестипазовой – 75° при соблюдении условия критического угла нагрузки по массе ротора, эксцентриситету и частоте питающего напряжения [2].

Список литературы: 1. Бертинов А.И., Варлей В.В. Электрические двигатели с катящимся ротором. – М.: Энергия, 1969. – 200 с. 2. Наний В.В., Мирошниченко А.Г., Юхимчук В.Д., Дунев А.А. Угол нагрузки двигателя с катящимся ротором вертикального исполнения. – Вестник НТУ "ХПИ": Тем. выпуск "Проблемы совершенствования электрических машин и аппаратов". – 2008. – №25. – С. 97-99.

*Поступила в редакцию 18.04.2012
Рецензент д.т.н., проф. Милых В.И.*