

В.В. НАНИЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков
А.М. МАСЛЕННИКОВ, ас., НТУ "ХПИ", Харьков

ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНОГО ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА ДКР ОТ КОЛИЧЕСТВА СТАТОРНЫХ КАТУШЕК ПРИ ДИСКРЕТНОМ ИМПУЛЬСНОМ ПИТАНИИ

Conditions of creation of the maximum rotating moment for electric motor with a rolling rotor with a discrete pulse power are considered. Results of calculation for idealized conditions of creation force of a unilateral magnetic attraction, and also with the account eccentricity a rotor and a non-uniform air gap for a saturated and non-saturated condition of steel are presented.

Рассмотрены условия создания максимального вращающего момента для ДКР с дискретным импульсным питанием. Представлены результаты расчета для идеализированных условий создания силы одностороннего магнитного притяжения, при эксцентричном положении ротора и неравномерном воздушном зазоре без учета и с учетом распределения магнитной индукции в воздушном зазоре.

Розглянуто умови створення максимального обертового моменту для ДКР з дискретним імпульсним живленням. Представлено результати розрахунку для ідеалізованих умов створення сили однічного магнітного тяжіння, при ексцентричному розатшуванні ротора та нерівномірним повітряним зазором без урахування та з урахування розподілу магнітної індукції у повітряному зазорі.

Постановка проблемы. Применение дискретного импульсного питания для ДКР позволяет достичь необходимого вращающего момента и точности позиционирования вала, но на их значения оказывают влияние геометрические размеры машины, магнитные свойства сердечников, а также количество статорных катушек. В одном и том же габарите двигателя можно достичь различных значений вращающего момента и точности позиционирования вала. ДКР характеризуются высоким крутящим моментом и низкой скоростью вращения выходного вала за счет обкатывания ротором поверхности статора. Поэтому целесообразно рассмотреть условия, влияющие на создание максимального вращающего момента на валу двигателя.

Анализ литературы. В работе [1] рассмотрены различные варианты конструкций ДКР, предназначенные для использования в автома-

тизированном безредукторном электроприводе. Рассмотрены вопросы теории, проектирования и применения двигателей для трехфазных систем переменного напряжения. В работе [1] не рассмотрены вопросы дискретного импульсного питания, а предложены только несколько вариантов конструкций ДКР, которые могут работать от источника импульсного дискретного питания. В работе [2] также приводятся различные варианты конструкций ДКР для трехфазных и однофазных систем переменного напряжения, но затрагиваются вопросы создания силы одностороннего магнитного притяжения, что приводит к появлению конструкций ДКР с пульсирующим магнитным полем.

Цель статьи – анализ влияния количества статорных катушек на максимальный вращающий момент двигателя при неизменных геометрических размерах и электромагнитных свойств магнитопровода.

Идеализованные условия создания силы одностороннего магнитного притяжения (СОМП). Под идеализованными условиями будем понимать такие условия, когда каждая катушка статора создает равный по значению вектор СОМП, т.е. не будем учитывать наличие эксцентриситета, а значит и неравномерного воздушного зазора при различном количестве катушек статора. В общем случае вращающий момент в ДКР рассчитывается по формуле [2]:

$$M = Q \cdot \frac{D_2}{2} \cdot \sin \Theta, \quad (1)$$

где D_2 – диаметр ротора; M – вращающий момент, развиваемый на валу двигателя;

$$Q = \frac{B_\delta^2 \cdot S}{\mu_0} - \text{СОМП};$$

B_δ – магнитная индукция в воздушном зазоре; S – площадь активной поверхности, через которую проходит основной магнитный поток, создающий вектор СОМП; Θ – угол нагрузки.

Из формулы (1) видно, что значение вращающего момента пропорционально произведению $B_\delta^2 \cdot S$, диаметру ротора D_2 , а так же углу нагрузки Θ .

При одинаковой геометрии и нагрузке двигателя, но с различным количеством статорных катушек, на вращающий момент двигателя будет влиять только СОМП, которая пропорциональна произведению $B_\delta^2 \cdot S$ и, так как рассматривается идеализованная картина, когда каждая катушка создает вектор СОМП равного значения, то результи-

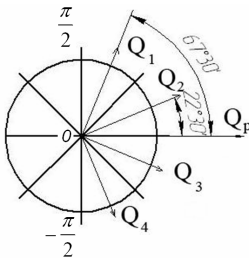


Рис. 1. Создание результирующего вектора СОМП в ДКР с 8 катушками на статоре.

тирующего вектора СОМП возможно достигнуть только при включении статорных катушек на участке $\pm\pi/2$ от точки контакта (рис. 1).

Как уже было сказано, при идеализированных условиях вектора каждой катушки равны между собой, и для удобства примем, что:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = Q_6 = Q_7 = Q_8 = Q_{\epsilon} \cdot \cos 67^{\circ}30'$$

$$Q_2 = Q_3 = Q_{\epsilon} \cdot \cos 22^{\circ}30'$$



Рис.2. Зависимость результирующего вектора СОМП от количества одновременно включенных катушек при идеализированных условиях.

позволяет увеличить результирующий вектор СОМП, а значит и значение вращающего момента на валу ДКР.

Влияние распределения магнитной индукции в воздушном зазоре ДКР на создание силы одностороннего магнитного притяжения. Наличие квадратичной зависимости между индукцией в воздушном зазоре и развиваемым моментом двигателя приводит к необходимости рассмотрения вопроса о форме распределения магнитной ин-

рующее значение вектора СОМП будет определяться векторной суммой СОМП всех катушек.

Для определения фактора влияния количества статорных катушек на вращающий момент двигателя, а значит, и на результирующий вектор СОМП рассмотрим варианты статоров с 4, 6, 8 и т.д. до 18 катушек расположенных в пазах статора. Так же следует упомянуть, что максимальное значение результирующего вектора СОМП

Но есть разница в их пространственном положении, что при векторном сложении учитывается с помощью функции косинуса. Результаты расчетов для идеализированных условий представлены графически на рис. 2.

Результаты расчета при идеализированных условиях показывают, что увеличение количества статорных катушек

дукции в воздушном зазоре для создания максимального вращающего момента на валу двигателя.

Так как магнитная индукция обратно пропорциональна значению воздушного зазора, то необходимо учесть, что вектор СОМП каждой статорной катушки будет уменьшаться на величину пропорциональную длине воздушного зазора. Для аналитического описания графической формы распределения магнитной индукции в воздушном зазоре было предложено применить аппроксимацию гиперболическим косинусом. Получим зависимость следующего вида:

$$B(\alpha) = \frac{B_{\max}}{ch(\alpha_0/\sigma)}, \quad (2)$$

где B_{\max} – максимальное значение магнитной индукции; σ – коэффициент, зависящий от разницы диаметров статора и ротора, определяет ширину графика распределения магнитной индукции в воздушном зазоре (при принятой разности диаметров $\Delta D=1$ мм, $\sigma = 60$); α_0 – значение угла, при котором необходимо вычислить значение магнитной индукции.

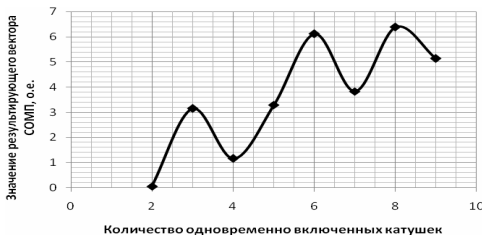


Рис. 3. Зависимость результирующего вектора СОМП от количества одновременно включенных катушек с учетом распределения индукции в воздушном зазоре.

значение результирующего вектора также растет. Что касается провалов, представленных на графике, они объясняются положением ротора по отношению к зубцу статора. Например, при использовании 6 катушечного статора и запитывании катушек на участке $\pm\pi/2$ мы имеем три одновременно включенные катушки, причем точка контакта совпадает с серединой зубца, т.е. средняя катушка имеет минимальный воздушный зазор и максимальное значение вектора СОМП. При расчете восьмикатушечного статора и питания катушек на участке $\pm\pi/2$ мы имеем четыре одновременно включенные катушки, т.е. результирующий вектор СОМП каждой катушки попадает на определенный воз-

Как видно на рис. 3 рассчитанный график зависимости результирующего вектора СОМП изменяется при учете изменения магнитной индукции в воздушном зазоре, но его характер все еще остается тем же что и на рис. 2, т.е. при увеличении количества статорных катушек значение результирующего вектора также растет.

душный зазор, что в результате уменьшает значение результирующего вектора СОМП всех включенных катушек.

Изменение силы одностороннего магнитного притяжения с учетом распределения магнитной индукции в воздушном зазоре при изменении активной площади статора. На рис. 2 показан идеальный случай – когда, чем больше число статорных катушек, тем выше значение результирующего вектора СОМП, а так же представлены результаты расчета с учетом изменения значения воздушного зазора. Оба графика демонстрируют тенденцию к общему увеличению значения вектора СОМП при увеличении количества одновременно включенных катушек. Но каждую катушку необходимо укладывать в пазы из-за чего активная поверхность статора будет уменьшаться, что будет сказываться на значении результирующего вектора СОМП.

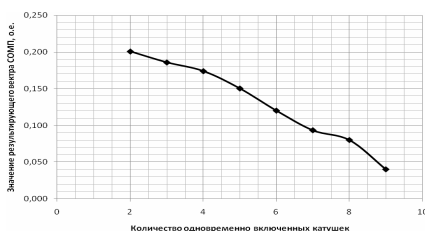


Рис. 4. Зависимость результирующего вектора СОМП от количества одновременно включенных катушек с учетом распределения индукции в воздушном зазоре и уменьшением активной площади.

Результаты расчетов представлены графически на рис. 4. Характеристика, представленная на рис.4, показывает, что максимальное значение СОМП возможно при использовании четырехкатушечного статора, в котором одновременно запитано две катушки, но при этом точка контакта ротора и статора должна перемещаться на угол 90° в момент следующего

переключения, импульса питающего напряжения, что вызывает большую неравномерность (дискретность) вращения вала ДКР.

Выводы. При расчете СОМП, для подобного типа двигателя, определяющую роль играет площадь активной поверхности статора и распределение магнитной индукции в воздушном зазоре. С точки зрения практического проектирования, надежности и трудоемкости изготовления, наиболее приемлемыми являются варианты двигателей с четырьмя, шестью и восемью катушками обмотки статора.

Список литературы: 1. *Берттинов А.И.* Электрические машины с катящимся ротором / *А.И. Берттинов, В.В. Варлей.* – М.: Энергия, 1969. – 200 с. 2. *Борзяк Ю.Г.* Электродвигатели с катящимся ротором / *Ю.Г. Борзяк, М.А. Зайков, В.П. Наний.* – К.: Техніка, 1982. – 120 с.

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