

ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ ЗУБЦОВОЙ ЗОНЫ СТАТОРА НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ И РАДИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СИЛЫ ВЕНТИЛЬНО-РЕАКТИВНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Рымша В.В., д.т.н., доц.

Одесский национальный политехнический университет
Украина, 65044, Одесса, пр. Шевченко, 1, ИЭЭ, кафедра электрических машин
Научно-производственное предприятие "Одесмонтажспецпроект"
Украина, 65005, Одесса, ул. Дальницкая, 23
тел.(048) 738-58-55, E-mail: rimsha@omsp.od.ua, pro@omsp.od.ua

Радимов И.Н., к.т.н., доц.

Научно-производственное предприятие "Одесмонтажспецпроект"
Украина, 65005, Одесса, ул. Дальницкая, 23
тел.(048) 738-58-55, E-mail: pro@omsp.od.ua

Чан Тхи Тху Хыонг

Одесский национальный политехнический университет
Украина, 65044, Одесса, пр. Шевченко, 1, ИЭЭ, кафедра электрических машин

Наведено результати порівняльного аналізу електромагнітного моменту та радіальних електромагнітних сил для чотирифазного вентильно-реактивного двигуна (ВРД) з числом полюсів 16/12 при різноманітних варіантах конфігурації зубцевого шару статора. Показано, що вибір форми зубця статора є багатокритеріальна задачею, вирішення якою необхідно здійснювати з урахуванням специфіки навантаження електроприводу з ВРД.

Представлены результаты сопоставительного анализа электромагнитного момента и радиальных электромагнитных сил для четырехфазного вентильно-реактивного двигателя (ВРД) с числом полюсов 16/12 при различных вариантах конфигурации зубцовой зоны статора. Показано, что выбор формы зубца статора является многокритериальной задачей, решение которой необходимо осуществлять с учетом специфики нагрузки электропривода с ВРД.

В [1] проказано, что конфигурация зубца статора оказывает существенное влияние на форму зависимости электромагнитного момента (ЭММ) от положения ротора вентильно-реактивного двигателя (ВРД). Исследования проводились при неизменной МДС обмотки статора ВРД с соотношением чисел полюсов статор/ротор=16/12 для пускового режима или режима перегрузки, характеризующихся глубоким насыщением магнитной системы двигателя. В результате исследований сделан вывод о том, что наименьшая величина пульсаций ЭММ обеспечивается при выполнении статора с трапециевидной формой зубца.

В то же время следует отметить, что такая форма зубца статора ухудшает технологию обмоточных работ, уменьшает объем межполюсного пространства и, следовательно, заполнение паза медью, что, в конечном итоге, приводит к снижению полезной мощности ВРД. Кроме этого, представляет практический интерес оценить влияние формы зубца статора на величину радиальных электромагнитных сил (ЭМС) при эксцентриситете ротора.

Исходя из того, что во многих приложениях определяющим является не величина пульсаций ЭММ в пусковых режимах (например, при вентиляторной нагрузке электропривода), а средний ЭММ M_{cp} за период коммутации, была поставлена задача сравнить рабочие свойства ВРД, а именно: M_{cp} , коэффициента пульсаций $K_{пульс.}$, а также величины радиальных

электромагнитных сил (ЭМС), возникающих при эксцентриситете ротора, для следующих трех вариантов исполнения зубцов статора (рис. 1):

вариант 1 - трапециевидный зубец с углом наклона стенок 5° (рис. 1, а);

вариант 2 - трапециевидный зубец с углом наклона стенок $2,5^\circ$ (рис. 1, б);

вариант 3 - зубец с параллельными стенками (рис. 1, в).

Сравнительный анализ проводился при неизменных для всех вариантов геометрических размерах активной части ВРД (см. таблицу).

Таблица

Геометрические размеры ВРД	
Наименование	
Внешний диаметр статора, мм	130
Диаметр ротора, мм	80
Активная длина, мм	80
Воздушный зазор, мм	0,25
Коэффициент полюсного перекрытия статора	0,5
Коэффициент полюсного перекрытия ротора	0,42

Расчетные исследования проводились с использованием полевых математических моделей [2]. Электромагнитный момент и радиальные ЭМС определялись методом "eggshell" [3].

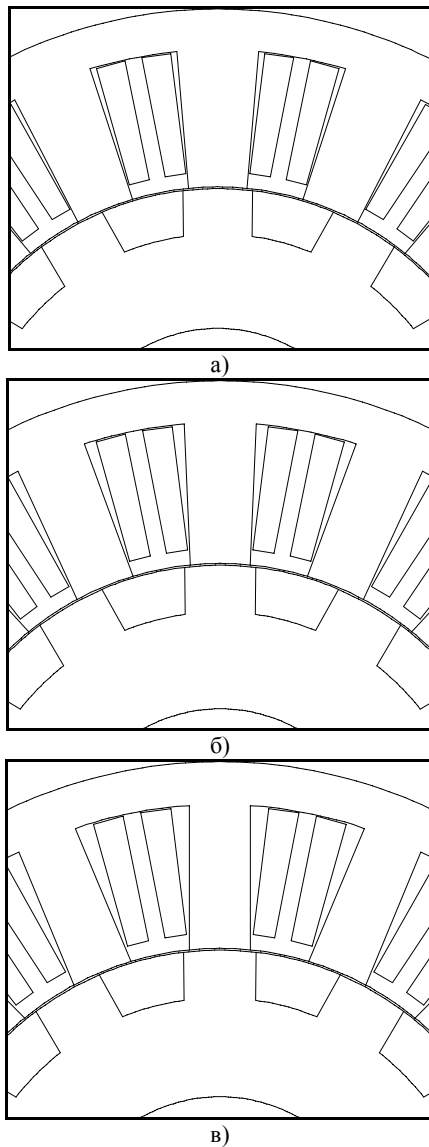


Рис. 1. Варианты исполнения зубца статора ВРД 16/12

На рис. 2 представлены зависимости ЭММ M в функции механического угла поворота ротора Θ . Данные зависимости приведены для рассмотренных выше исполнений зубца при двух значениях МДС обмотки статора: 350 А и 700 А. Величина МДС 350 А соответствует режиму работы двигателя, близкому к номинальному. Из рис. 2 видно, что в этом случае зависимости $M = f(\Theta)$ практически совпадают. В случае удвоенной МДС эти зависимости также совпадают в момент включения транзисторов ($\Theta = 11,25^\circ$) и заметно отличаются друг от друга в момент их выключения ($\Theta = 3,75^\circ$).

Данные рис. 3, отражающие изменение $M_{\text{ср}}$ в зависимости от плотности тока J в обмотке статора, получены с учетом увеличения площади окна и, соответственно, МДС фазы при последовательном переходе от варианта 1 зубца статора к варианту 3.

Например, при $J = 10 \text{ А/мм}^2$ МДС фазы для варианта 1 равна 678 А, а для варианта 3 – 786 А.

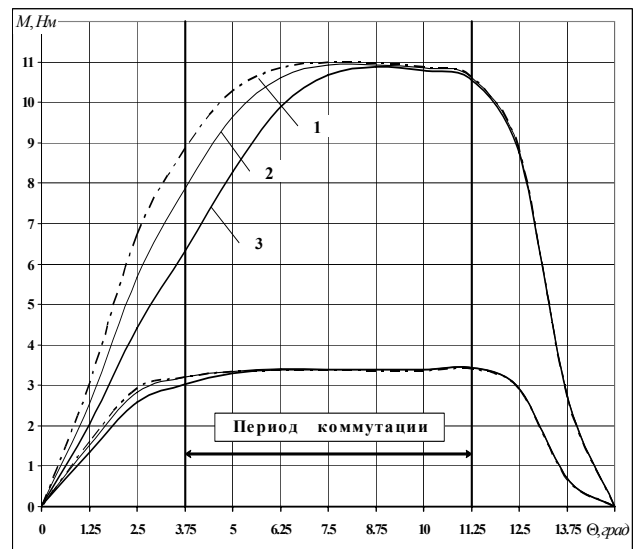


Рис. 2. Зависимости $M = f(\Theta)$ для номинального тока и режима двукратной перегрузки по току

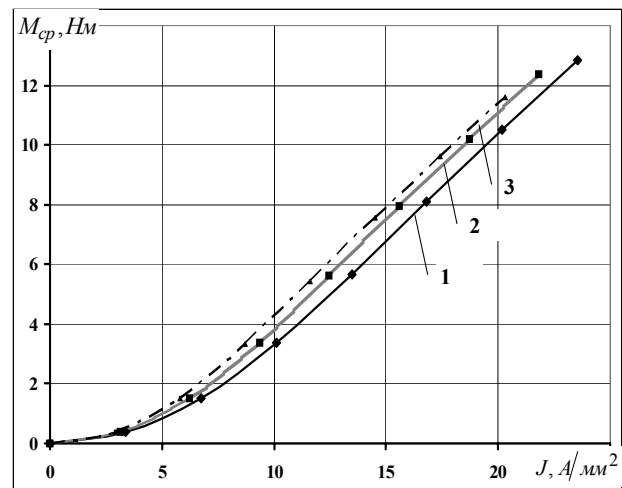


Рис. 3. Зависимости $M_{\text{ср}} = f(J)$

Из представленных на рис. 3 зависимостей следует, что при заданной плотности тока большая величина $M_{\text{ср}}$ обеспечивается при выполнении зубца статора с параллельными стенками (вариант 3).

Для этих же значений J выполнены расчеты $K_{\text{пульс.}}$, определяемого по формуле:

$$K_{\text{пульс.}} = \frac{M_{\text{max}} - M_{\text{min}}}{2 \cdot M_{\text{ср}}},$$

где M_{max} и M_{min} - максимальный и минимальный моменты на периоде коммутации. Результаты представлены на рис. 4, откуда видно, что при малом уровне насыщения магнитной цепи ВРД $K_{\text{пульс.}}$ мало отличается для разных вариантов исполнения зубца статора и находится в пределах 5%. С ростом электромагнитных нагрузок пульсации ЭММ резко возрастают, в особенности для варианта зубца с параллельными стенками.

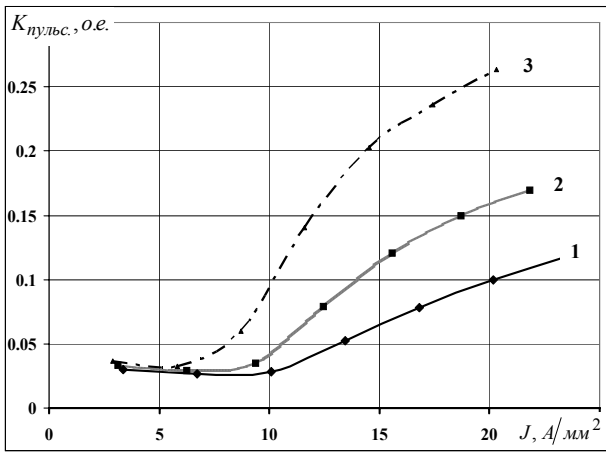


Рис. 4. Зависимости $K_{\text{пульс}} = f(J)$

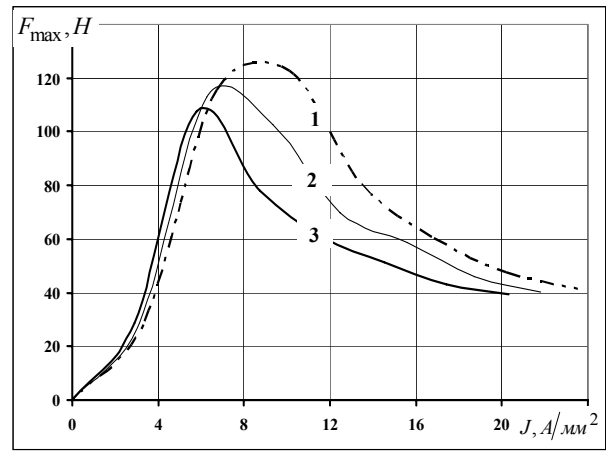
Представленные выше расчетные исследования проводились для идеального исполнения ВРД, в котором воздушный зазор выполнен полностью симметричным. На практике же наблюдается отклонение зазора от симметричного, вызванное как технологическими, так и иными причинами. Радиальный эксцентриситет воздушного зазора приводит к небалансу радиальных ЭМС, действующих на ротор ВРД. В результате этого возникает некомпенсированная сила одностороннего магнитного притяжения, увеличивающая нагрузку на механические части двигателя.

Радиальные ЭМС исследовались для трех вариантов исполнения зубца статора при смещении ротора от оси вращения на величину $\Delta\delta$. В качестве примера на рис. 5 представлены результаты расчетов максимальных значений небалансных радиальных сил F_{max} , имеющих место при согласованном положении полюсов ротора и возбуждаемых полюсов статора, в зависимости от плотности тока J при эксцентриситете $\Delta\delta = 0,1 \cdot \delta$ (рис. 5, а), $\Delta\delta = 0,3 \cdot \delta$ (рис. 5, б), $\Delta\delta = 0,5 \cdot \delta$ (рис. 5, в), где $\delta = 0,25$ мм - воздушный зазор при отсутствии эксцентриситета.

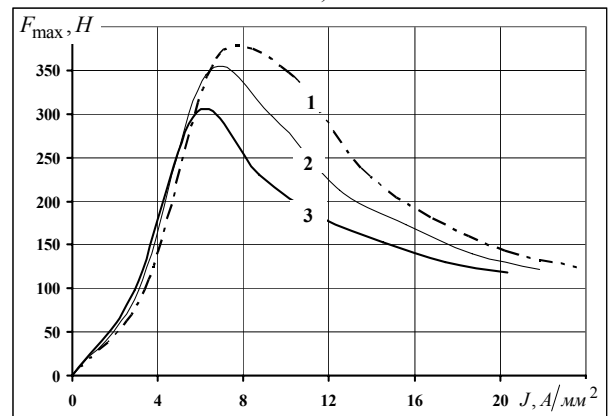
Из рис. 5 видно, что наибольшее значение небалансной силы наблюдается при выполнении зубца статора трапецевидным, с углом наклона стенок, равным 5° , а наименьшее – при выполнении зубца с параллельными стенками.

ВЫВОДЫ

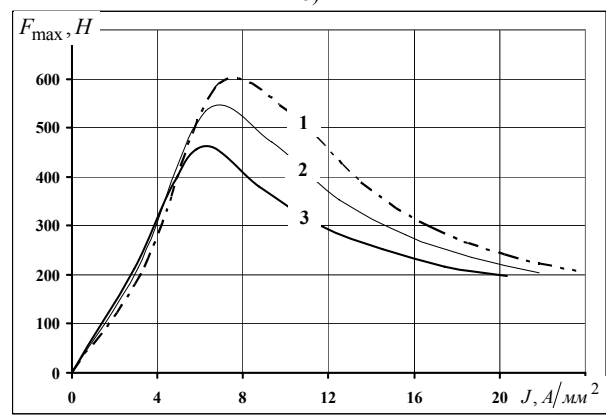
1. Выполнение зубца статора ВРД трапецевидной формы позволяет существенно снизить величину пульсаций ЭММ ВРД в режиме перегрузки.
2. При выполнении зубца статора с параллельными стенками обеспечивается наибольшее значение среднего ЭММ.
3. Наибольший небаланс ЭМС, вызываемый эксцентриситетом ротора, имеет место при трапецевидной форме зубца статора ВРД.
4. Выбор конфигурации зубцовой зоны статора двигателя является многокритериальной задачей, при решении которой необходимо учитывать особенности нагрузки электропривода с ВРД.



а)



б)



в)

Рис. 5. Зависимости $F_{\text{max}} = f(J)$ при $\Delta\delta = \text{var}$

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рымша В.В., Радимов И.Н., Малеваный О.Е. Анализ конфигурации зубцовой зоны вентильно-индукторного двигателя // Вісник Східноукраїнського національного університету. – 2003. – № 4 (62). – С. 76-82.
- [2] Радимов И.Н., Рымша В.В., Малеваный О.Е. Моделирование режимов работы вентильного индукторного двигателя // Електротехніка і електромеханіка. – 2002. – № 2. – С. 60-64.
- [3] Рымша В.В., Радимов И.Н., Порайко А.С. Расчет статического электромагнитного момента вентильно-реактивного двигателя модифицированным методом натяжений // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2003. – Вип. 60. – С. 35-38.

Поступила 29.08.2005