

## РАЗРАБОТКА ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ НА БАЗЕ ШТАМПА СТАТОРА РЕАКТИВНОЙ МАШИНЫ

Радимов И.Н., к.т.н., доц.  
 ООО "Завод "Электротехника"  
 Украина, 54028, Николаев, ул. Новозаводская, 19  
 тел. (048) 738-58-55, E-mail: nro@omsp.od.ua

Рымша В.В., д.т.н., проф., Гулый М.В., Процина З.П., Чан Тхи Тху Хыонг,  
 Одесский национальный политехнический университет  
 Украина, 65044, Одесса, пр. Шевченко, 1, ИЭЭ, кафедра электрических машин  
 тел. (048) 738-58-55, E-mail: rimsha@omsp.od.ua

*Розглянуто можливість виробництва вентильних двигунів з постійними магнітами при використанні штампів статора вентильно-реактивного двигуна.*

*Рассмотрена возможность производства вентильных двигателей с постоянными магнитами при использовании штампов статора вентильно-реактивного двигателя.*

Завод "Электротехника" (г. Николаев), до недавнего времени специализировавшийся на выпуске асинхронных электродвигателей малой мощности, в этом году приступил к серийному выпуску новой продукции - регулируемых вентильно-реактивных двигателей (ВРД). На сегодняшний день освоено производство двух типоразмеров ВРД – с внешним диаметром 57 мм и 84 мм. В то же время одними из наиболее востребованных сегодня на рынке являются вентильные двигатели с постоянными магнитами (ВДПМ), обладающие, по сравнению с ВРД, лучшими рабочими характеристиками [1]. Производство ВДПМ в Украине практически отсутствует. Поэтому одной из задач, стоящих перед заводом "Электротехника", является освоение серийного выпуска ВДПМ. Учитывая, что штампы для вырубki листов статора и ротора ВРД уже готовы, для снижения себестоимости производства ВДПМ предлагается использовать готовые листы статора ВРД. Основной проблемой реализации ВДПМ в этом случае является прогнозируемое ожидание больших реактивных моментов, связанных с явнополюсной структурой статора ВРД. Исходя из этого, на примере двигателя с внешним диаметром 57 мм, оценим величину паразитных реактивных моментов и рассмотрим меры по снижению их влияния на результирующий электромагнитный момент.

Исходная вырубка листа статора ВРД имеет 8 зубцов ( $Z_1 = 8$ ). При таком числе зубцов (пазов) статора для ВДПМ выполняем обмотку с числом фаз  $m = 2$ . Число полюсов ротора принято  $2p = 6$ . При этом соблюдается симметрия обмотки статора, имеющей дробное число пазов на полюс и фазу:  $q = \frac{Z_1}{2p \cdot m} = \frac{2}{3}$ .

Шаг обмотки по пазам:  $y = m \cdot q - \varepsilon = 2 \cdot 2/3 - 1/3 = 1$ , т.е. обмотка выполняется сосредоточенной катушечной с минимальными по длине лобовыми частями, как и обмотка статора ВРД (рис. 1).

Основные геометрические размеры исследуемого ВДПМ приведены в табл. 1.

Коммутация фаз ВДПМ производится с использованием силового транзисторного инвертора, построенного по схеме трехфазного моста (рис. 2).

Порядок включения транзисторов при повороте

ротора на 360 электрических градусов (120 механических градусов) в одном направлении приведен в табл. 2.

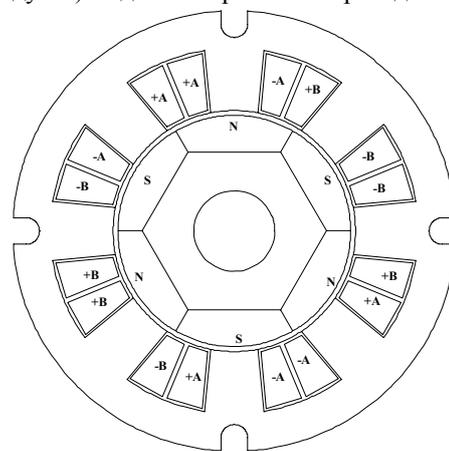


Рис. 1

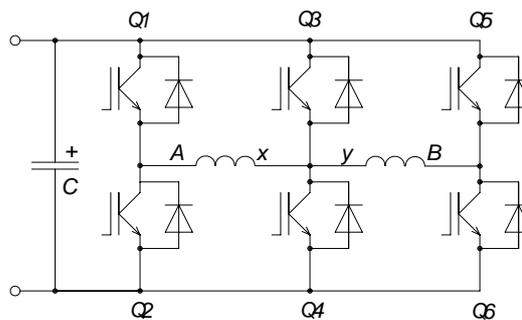


Рис. 2

Таблица 1

Внешний диаметр статора, мм	57
Внутренний диаметр статора, мм	29
Длина активной части, мм	28
Воздушный зазор, мм	0,6
Высота магнита, мм	4,5
Длина полюсной дуги статора, гр.	45

Таблица 2

Такты коммутации	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
1	+			+		
2				+	+	
3		+	+			
4			+			+

На роторе располагаются постоянные магниты из композиции NdFeB.

Рассматриваемый статор ВДПМ имеет открытые пазы, что приводит к неравномерному распределению магнитного поля и возникновению реактивного момента. На рис. 3 приведено распределение магнитного поля, созданного постоянными магнитами (холостой ход).

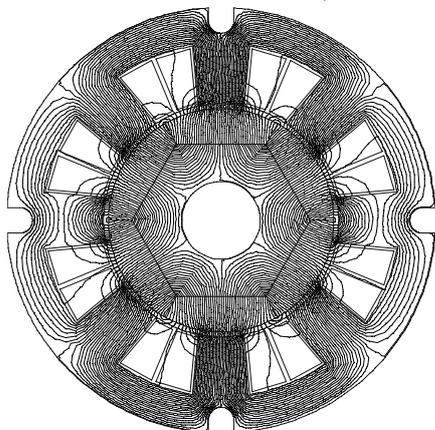


Рис. 3

Зависимости электромагнитного момента  $M$  от угла поворота ротора  $\Theta$  при холостом ходе и наличии тока в одной из фаз статора при суммарной МДС катушки фазы, равной 70 А, показаны на рис. 4.

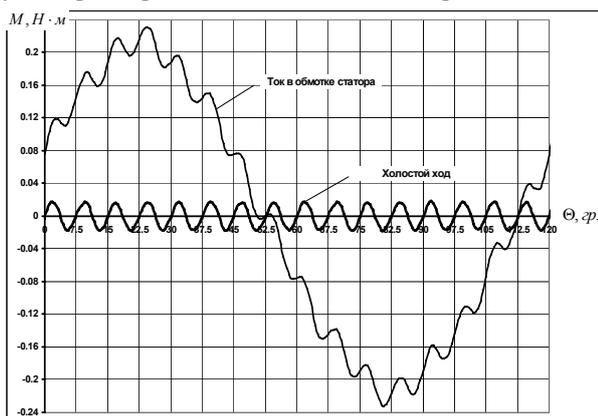


Рис. 4

Из рис. 4 видно, что пульсации момента с периодом приблизительно 7,5 механических градусов, имеющие место при холостом ходе, практически повторяются в кривой изменения момента при наличии тока в обмотке статора. Следовательно, подавление пульсаций момента при холостом ходе обеспечит улучшение формы кривой момента при наличии тока в статоре и ее приближение к синусоидальной форме. Для решения данной задачи возможно применение различных способов уменьшения уровня пульсаций реактивного момента.

Исходя из имеющихся на заводе "Электротехника" технологических возможностей ограничимся рассмотрением следующих:

- скос пазов статора;
- сдвиг магнитов на половине активной длины машины.

Скос пазов, с одной стороны, является одним из наиболее эффективных способов уменьшения пульсаций электромагнитного момента. С другой стороны этот способ приводит к усложнению технологии производства электродвигателя и, соответственно, к уве-

личению его стоимости.

Расчеты электромагнитного момента ВДПМ при углах скоса пазов статора от 4 до 8 градусов показали, что хорошее сглаживание пульсаций наблюдается при углах, близких к 7,5 градусам, а уменьшение либо увеличение угла скоса от 7,5 градусов приводит к ухудшению формы электромагнитного момента.

На рис. 5 приведены результаты расчета электромагнитного момента ВДПМ при холостом ходе, а на рис. 6 – при наличии тока в обмотке статора, при прямых пазах статора и при скосе пазов на угол 6 градусов, иллюстрирующие эффект применения скоса пазов статора.

В результате скоса пазов удалось более чем в 16 раз снизить амплитуду пульсаций электромагнитного момента на холостом ходе и, тем самым, обеспечить хорошее приближение к синусоиде также и момента при наличии тока в обмотке статора.

Следующей техникой, обеспечивающей снижение пульсаций электромагнитного момента, является сдвиг магнитов на роторе в несколько ступеней. Нами рассмотрен наиболее простой случай – двухступенчатый сдвиг на угол 3,75 градуса (рис. 7).

Принципиально возможно увеличение числа ступеней, но технологически это трудно выполнимо.

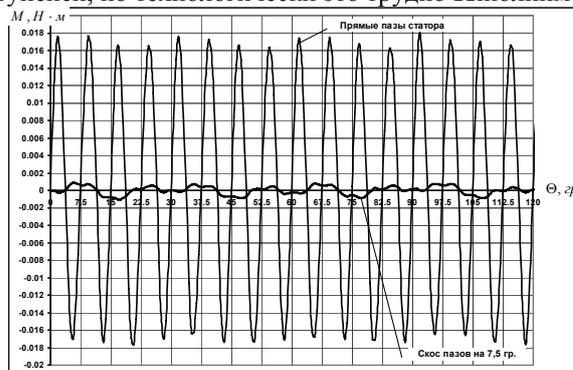


Рис. 5

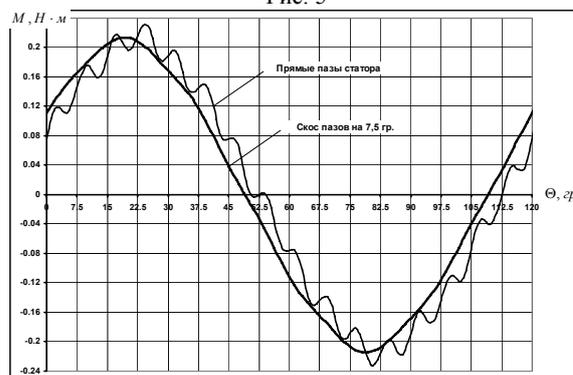


Рис. 6

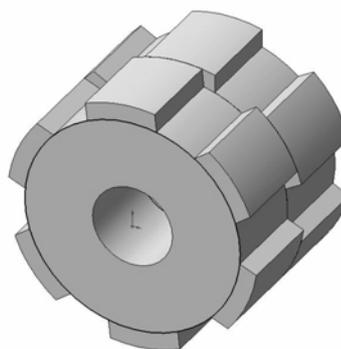


Рис. 7

Иллюстрацией воздействия двухступенчатого сдвига на изменение формы момента при холостом ходе являются данные рис. 8, а при наличии тока в обмотке статора – данные рис. 9.

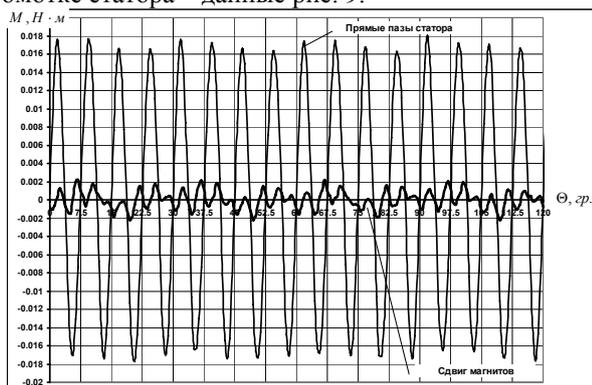


Рис. 8

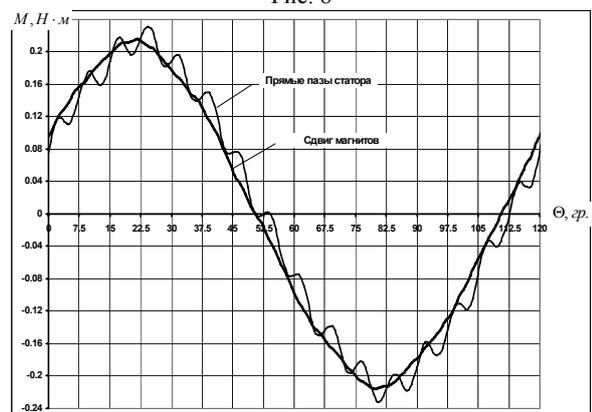


Рис. 9

Двухступенчатый сдвиг магнитов на роторе оказывается менее эффективным по сравнению со скосом пазов статора и уменьшает амплитуду пульсаций электромагнитного момента на холостом ходу лишь в 8 раз. Кроме того, форма этого момента далека от синусоидальной, что затрудняет устойчивую работу двигателя в зоне низких скоростей при малых нагрузках на валу.

Полученные теоретические результаты позволили спроектировать и изготовить ВДПМ с использованием листов статора ВРД, в котором выполнен скос пазов на 6 градусов. Внешний вид двигателя показан на рис. 10.

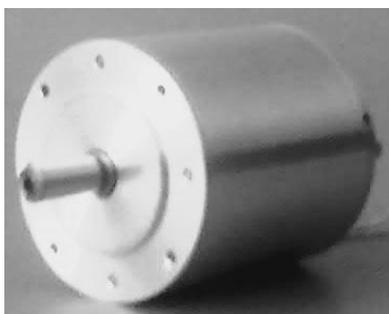


Рис. 10

При проведении испытаний электропривода с изготовленным ВДПМ были определены рабочие характеристики электропривода, а именно: механическая характеристика  $\omega = f(M)$  (рис. 11), зависимость тока электропривода от момента  $I = f(M)$  (рис. 12) и зависимость КПД электропривода от момента  $\eta = f(M)$  (рис. 13).

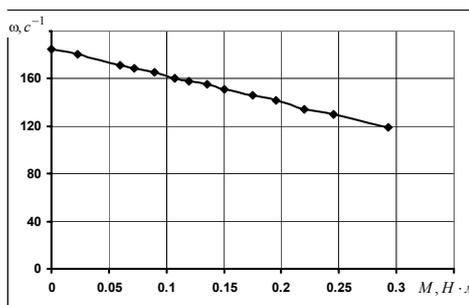


Рис. 11

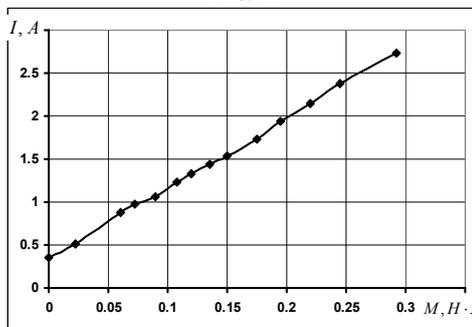


Рис. 12

Характеристики снимались при напряжении источника питания  $U_d = 24$  В и без регулирования скорости.

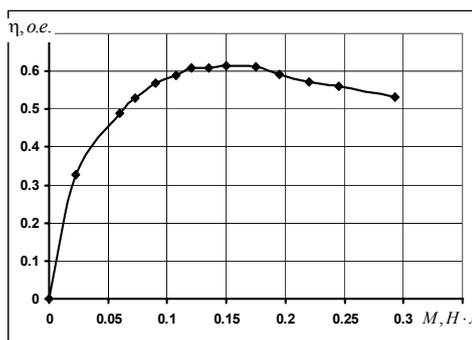


Рис. 13

По результатам испытаний установлены номинальные значения скорости  $\omega_{НОМ} = 140$  с<sup>-1</sup>, тока электропривода  $I = 2$  А. При этом  $\eta_{НОМ} = 0,58$ , а при нагрузке, равной 0,75 от номинальной,  $\eta = 0,615$ .

Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют об успешной реализации сформулированной в данной статье научно-практической задачи.

**Итоговым выводом по представленным материалам может служить следующее:** использование уже имеющихся штампов статора, разработанных для ВРД, позволяет, при выполнении скоса зубцовой зоны, производить ВДПМ с хорошими рабочими свойствами и, тем самым, расширить номенклатуру выпускаемых бесконтактных электроприводов на заводе "Электротехника" при относительно невысоких дополнительных капиталовложениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Антонов А.Е., Радимов И.Н., Рымша В.В. Сопоставительный анализ вентильных двигателей с пассивным и активным ротором // Праці ІЕД НАН України. Електродинаміка: 36. наук. пр. – 2005. № 1(10). – С. 53-56.

Поступила 30.08.2007