

*Л.П. ГАЛАЙКО*, канд. техн. наук

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"  
(г. Харьков)

## **ВЫБОР РАЗМЕРОВ ЗУБЦОВОГО СЛОЯ В ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОМ ДВИГАТЕЛЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

В статті розглянуто вибір ширини полюсу статора і ширини полюсу ротора вентиляно-індукторного двигуна для пральної машини потужністю 90 Вт з урахуванням критеріїв: максимум ккд, максимум енергетичного коефіцієнта, мінімум максимального струму фази, мінімум коефіцієнта пульсацій. При зменшенні ширини полюсу статора зростає ширина котушки, інші розміри двигуна не змінюються. Кількість витків та діаметр проводу котушки розраховувались необхідними для забезпечення заданої потужності. Розглянуто 6 варіантів, показано, що на величину критеріїв значний вплив має значення активного опору котушки, який в відносних одиницях змінюється від 0,14 до 0,242.

В статье рассматривается выбор ширины полюса статора и полюса ротора вентиляно-индукторного двигателя для стиральной машины мощностью 90 Вт с учетом критериев: максимум кпд, максимум энергетического коэффициента, минимум максимального тока фазы, минимум коэффициента пульсаций. При уменьшении ширины полюса статора увеличивается ширина катушки, остальные размеры двигателя не изменяются. Количество витков и диаметр провода катушки рассчитываются так, чтобы обеспечить заданную мощность. Рассмотрено 6 вариантов, показано, что на величину критериев значительное влияние имеет значение активного сопротивления катушки, которое в относительных единицах изменяется от 0,14 до 0,242.

**Введение.** Вентиляно-индукторные двигатели (в зарубежной литературе Switched Reluctance Motors) появились в восьмидесятые годы прошлого столетия. В настоящее время во многих странах освоен серийный выпуск этих двигателей в диапазоне малых и средних мощностей для различных областей применения. Однако до сих пор отсутствует общепринятая инженерная методика проектирования вентиляно-индукторных двигателей. В частности, несмотря на большое количество патентов и публикаций, посвященных вентиляно-индукторным двигателям, вопрос выбора геометрии зубцового слоя этих двигателей не получил достаточного развития. В работе [1] приведены общие рекомендации без учета их влияния на различные критерии. В работе [2] выбор геометрии зубцового слоя

производится с учетом режима работы двигателя в электроприводе в основном по одному критерию: получение максимального момента. Наиболее широко анализируется этот вопрос в работе [3]. Однако большое количество принятых в работе допущений не позволяют в полной мере использовать приведенные рекомендации. В частности, не учитывается влияние размеров зубцового слоя на пульсации момента. Кроме того, исследования проведены для трехфазного двигателя средней мощности 45 кВт с относительным сопротивлением обмоток в пределах 0,5-1,25 %, а в машинах малой мощности относительные сопротивления существенно больше (14-25 %). Приняты также допущения: при изменении размеров полюсов масса меди обмотки остается постоянной, зубцы статора и ротора выполнены одинаковыми, основания зубцов больше коронок зубцов на  $0,2 t_R$ . Здесь  $t_R$  – зубцовый шаг по ротору.

**Цель работы** – численное моделирование зубцового слоя ВИД малой мощности.

**Методика исследований.** Исследования проведены на примере четырехфазного ВИД мощностью 90 Вт, спроектированного для привода стиральной машины на базе асинхронного конденсаторного двигателя.

В качестве параметров для выбора оптимального варианта приняты: 1 – амплитуда  $I_{max}$  фазного тока (определяет стоимость преобразователя частоты); 2 – коэффициент  $K_p$  эффективности преобразования энергии (отношение энергии обмотки, которая идет на совершение механической работы, ко всей энергии поступившей в обмотку); 3 – коэффициент  $K_r$  пульсаций момента (отношение среднего момента к максимальному); 4 – коэффициент полезного действия  $\eta$ .

Расчеты проведены для трех вариантов ширины полюса статора с помощью разработанной автором программы на языке Паскаль, описанной в работе [4], по следующему алгоритму. При уменьшении ширины полюса статора увеличиваем ширину катушки. Для каждого варианта ширины катушки задаемся несколькими значениями числа витков, определяем диаметр провода и рассчитываем сопротивление катушек фазы  $R_c$ . Затем считаем по программе, подбираем параметры питания для обеспечения заданной мощности 90 Вт. В качестве параметров питания рассматриваем угол между полюсами статора и ротора, при котором подается напряжение на катушки фаз,  $\Theta_{om}$ , и длительность импульса напряжения  $\Delta\Theta$ . Исходные данные для расчета приведены в табл. 1, результаты расчета – в табл. 2. В табл. 1 приняты следующие обозначения:  $b_s, b_R$  – ширина полюсов статора и ротора соответственно, одинаковая по высоте, в мм;  $b_c$  – ширина катушки;  $\beta_s, \beta_R$  – ширина полюсов статора и ротора в градусах;  $b_s/t_R, b_R/t_R$  – относительная ширина полюсов статора и ротора;  $W_c$  – число витков катушки;  $R_c$  – сопротивление двух катушек фазы.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

№ вар.	$b_s$ , мм	$b_R$ , мм	$b_c$ , мм	$\beta_s$ , град	$\beta_R$ , град	$b_s / t_R$ , о.е.	$b_R / t_R$	$W_c$	$R_c$ , мм
1	8,8	8,8	4	23,6	23,96	0,396	0,396	416	41,02
2	8,8	8,8	4	23,6	23,96	0,396	0,396	348	29,4
3	7,8	8,4	4,5	20,9	22,85	0,351	0,378	420	36,08
4	7,8	8,4	4,5	20,9	22,85	0,351	0,378	364	27,1
5	7	8,4	4,9	18,74	22,85	0,315	0,378	450	38,56
6	7	8,4	4,9	18,74	22,85	0,315	0,378	338	21,98

Таблица 2 – Результаты расчета

№ вар.	$\Theta_{on}$ , град	$\Delta\Theta$ , град	$I_c$ , А	$I_{max}$ , А	$K_p$ , о.е.	$K_r$ , о.е.	$\eta$ , о.е.	$P_{el}$ , Вт	$P_m$ , Вт
1	32	21	0,45	0,848	0,49	1,26	0,641	32,9	12,6
2	29,6	18,6	0,51	0,912	0,47	1,14	0,64	30,17	15,4
3	30,6	19,6	0,45	0,867	0,51	1,12	0,664	29	11,5
4	28,8	17,8	0,5	0,96	0,49	1,11	0,667	26,9	13,5
5	30,2	20,2	0,43	0,852	0,52	1,18	0,672	28,2	10,6
6	26,8	16	0,52	1,056	0,49	1,21	0,674	23,7	14,2

В табл. 2 приняты следующие обозначения:  $I_c$  – эффективное значение тока фазы;  $p_{el}$  – электрические потери в катушках фазы;  $p_m$  – магнитные потери в сердечниках статора и ротора.

**Обсуждение полученных результатов расчета.** Как следует из анализа таблиц, для каждого значения ширины полюсов статора было рассчитано два варианта с разными значениями числа витков  $W_c$  и разными значениями ширины импульса напряжения питания  $\Delta\Theta$ . Уменьшение ширины импульса приводит к увеличению амплитуды фазного тока  $I_{max}$  и уменьшению энергетического коэффициента  $K_p$ . При этом кпд  $\eta$  практически не изменяется, а коэффициент пульсаций момента  $K_r$  изменяется по разному (1, 2 вариант – уменьшается, 2, 3 – практически не изменяется и 5, 6 – увеличивается).

Наилучшие значения критериев обеспечивают следующие варианты: минимальное значение  $I_{max}$  – первый вариант, максимальное значение  $K_p$  – пятый вариант, минимальное значение  $K_r$  – четвертый вариант, максимальный коэффициент полезного действия  $\eta$  – шестой вариант. Таким образом, ни один из вариантов не удовлетворяет всем критериям.

Если не учитывать незначительные отклонения значений некоторых коэффициентов от оптимальных, можно сделать следующие рекомендации:

1 – без учета критерия минимума пульсаций момента, как это сделано в работе [3], можно рекомендовать пятый вариант;

2 – с учетом критерия минимума пульсаций момента лучшим следует

признать третий вариант с исходными данными  $\beta_s = 20,9$  град,  $\beta_R = 22,85$  град. Эти значения размеров полюсов примерно совпадают с рекомендуемыми в работе [5] ( $\beta_s = 21$  град,  $\beta_R = 23$  град).

**Вывод.** Результаты численного моделирования вентильно-индукторного двигателя малой мощности при выборе параметров зубцового слоя показывают, что единой методики расчета не существует и в зависимости от используемых критериев оптимизации необходимо использовать различные методики.

**Список литературы:** 1. *Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А.*. Особенности проектирования индукторной машины для вентильно-индукторного двигателя // Известия вузов. Электромеханика. – 2008. – № 1. – С. 60-68. 2. *Пахомин С.А.*. Влияние геометрии зубцового слоя и параметров питания на показатели вентильно-реактивного индукторного двигателя // Известия вузов. Электромеханика. – 2000. – № 1. – С. 30-36. 3. *Красовский А.Б.* Выбор внутренних геометрических параметров вентильно-индукторной машины с учетом режимов работы в электроприводе // Электричество. – 2006.– № 6. – С. 48-55. 4. *Галайко Л.П.* Расчет зависимостей тока и момента вентильно-индукторного двигателя различными методами // Вісник НТУ "ХПІ". – 2001.– № 17. 5. *Кузнецов В.А. и др.* Особенности расчета индукторных двигателей для вентильно-индукторного электропривода // Электротехника. – 1998. – № 6.

*Поступила в редколлегию 8.09.08*