

Г.В. Пуйло, А.С. Порайко, И.Н. Радимов, В.В. Рымша,
 Научно-производственное предприятие “Одесмонтажспецпроект”,
 Одесский национальный политехнический университет

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ ЗУБЦОВОЙ ЗОНЫ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ ВЕНТИЛЬНО-РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

© Пуйло Г.В., Порайко А.С., Радимов И.Н., Рымша В.В., 2003

Наведено рекомендації щодо вибору геометричних співвідношень зубцевого шару вентильно-реактивного двигуна.

The recommendations for choice the geometrical ratio of the pole zone of the switched reluctance motor are offered.

Вентильно-реактивные двигатели (ВРД) являются простейшими и технологичными преобразователями энергии, что обуславливает повышенное внимание к электрическим машинам этого типа [1, 2, 3]. В последнее десятилетие накоплен определенный опыт проектирования ВРД и в литературе присутствуют различные рекомендации по выбору геометрических размеров проектируемой электрической машины, однако эти рекомендации зачастую расходятся между собой. Так, например, при выборе коэффициентов полюсного перекрытия статора α_s и ротора α_r , влияющих на распределение магнитного поля ВРД, и, в конечном итоге, на величину электромагнитного момента и уровня его пульсаций, проектировщики сталкиваются с тем, что рекомендуемые диапазоны изменения указанных коэффициентов, отраженные в табл. 1, не позволяют принять однозначное решение.

Таблица 1

Существующие рекомендации по выбору коэффициентов полюсного перекрытия ВРД с соотношением чисел полюсов 8/6

Коэффициент	[1]	[2]	[3]
α_s	(0.56–0.61)	0.511	(0.35–0.5)
α_r	(0.42–0.46)	0.35	(0.3–0.45)

Для уточнения рекомендаций по выбору α_s и α_r , а также с целью оценки их влияния на рабочие свойства двигателя были проведены расчетные исследования четырехфазного ВРД с соотношением чисел полюсов статора и ротора 8/6 (рис. 1). Габаритные и установочные размеры двигателя соответствуют серийно выпускаемой асинхронной машине КД120-4/56РМ6 бытового назначения, что позволяет использовать стандартные подшипниковые щиты с унифицированными подшипниковыми узлами в ВРД и делает возможным его применение в тех же механизмах, что и существующий асинхронный двигатель, но с регулированием скорости. Обозначения геометрических размеров ВРД приведены на рис. 1, а их численные значения сведены в табл. 2.

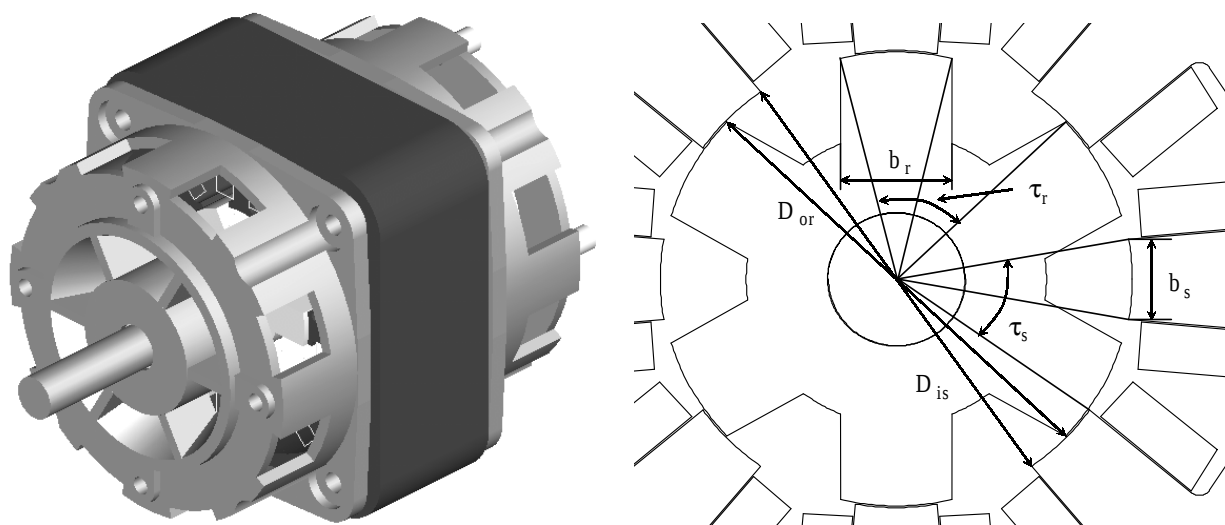


Рис. 1. Исследуемый ВРД и обозначения его геометрических размеров

Таблица 2

Геометрические размеры исследуемого ВРД

Габаритные размеры двигателя (мм)	103×103×190
Наружный размер статора (мм)	103×103
Внутренний диаметр статора (мм), D_{is}	55
Наружный диаметр ротора (мм), D_{os}	54,6
Длина пакета статора (мм), l	40
Полусное деление статора (мм), τ_s	21,6
Полусное деление ротора (мм), τ_r	28,59
Высота полюса статора (мм)	18
Высота полюса ротора (мм)	10
Диаметр вала (мм)	16

В соответствии с принятыми на рис. 1 обозначениями коэффициент полюсного перекрытия статора

$$\alpha_s = \frac{b_s}{\tau_s}, \quad (1)$$

ротора

$$\alpha_r = \frac{b_r}{\tau_r}, \quad (2)$$

где b_s – ширина полюса статора, b_r – ширина полюса ротора.

Изменение электромагнитного момента M рассматриваемого ВРД в зависимости от угла поворота ротора Θ происходит в диапазоне изменения $\Theta = (0^0 \div 30^0)$, что соответствует перемещению ротора от согласованного положения ($\Theta = 0^0$), когда оси зубцов статора и ротора совпадают, к полностью рассогласованному положению ($\Theta = 30^0$), когда ось зубца статора совпадает с осью паза ротора. Зависимости $M = f(\Theta)$ для трех значений тока фазы представлены на рис. 2. Включение фазы осуществляется при $\Theta = 22,5^0$, отключение – при $\Theta = 7,5^0$, т.е. период коммутации равен 15^0 .

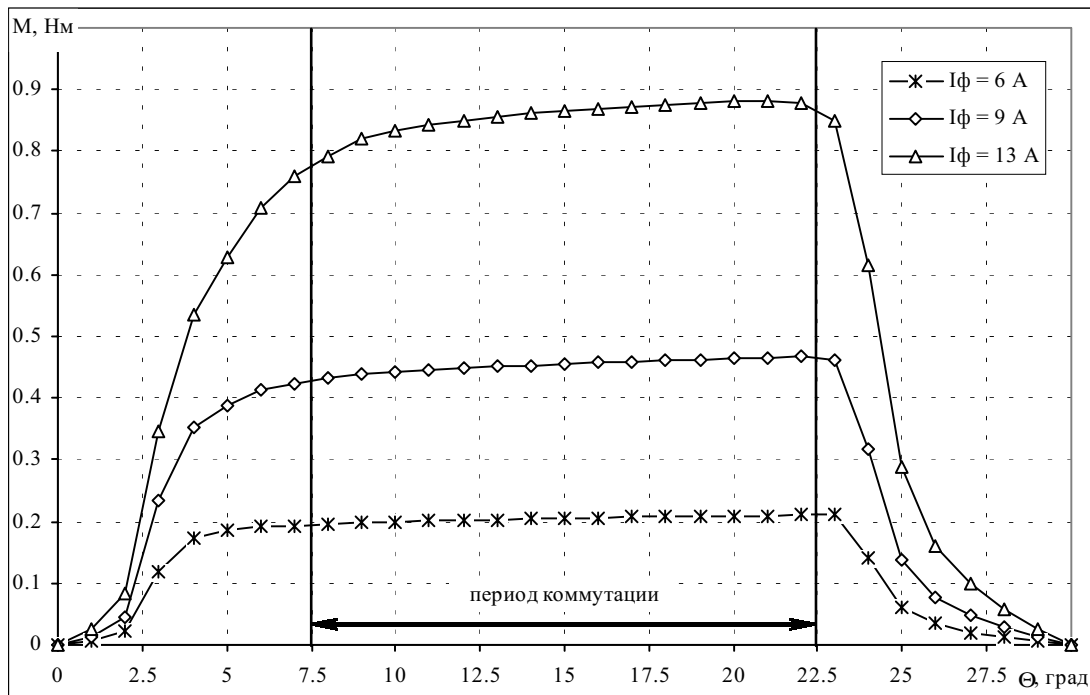


Рис. 2. Зависимости $M = f(\Theta)$ для ряда значений тока фазы

Рабочие свойства ВРД можно оценить следующими критериями:

- средним значением статического электромагнитного момента M_{cp} , получаемым интегрированием зависимости $M = f(\Theta)$ на периоде коммутации;
- коэффициентом пульсаций момента

$$K_{\Pi} = \frac{\max(M_i) - \min(M_i)}{2 \cdot M_{cp}}, \quad i \in [1, N], \quad (3)$$

где M_i – значение мгновенного момента в i -й точке зоны коммутации; N – число расчетных точек за период коммутации;

– коэффициентом изменения индуктивности фазы обмотки

$$K_L = \frac{\max(L_k)}{\min(L_k)}, k \in [1, J], \quad (4)$$

где J – число расчетных точек в диапазоне $\Theta = (0^0 \div 30^0)$.

Указанные величины определялись на основе результатов расчета магнитного поля ВРД методом конечных элементов с использованием математической модели [4]. Перемещение ротора осуществлялось от согласованного положения к полностью рассогласованному положению с шагом 1 градус. Мгновенное значение электромагнитного момента рассчитывалось модифицированным методом натяжений [5]. Во всех расчетах ток фазы двигателя был равен 13 А, что соответствует насыщенному состоянию магнитной цепи машины, при котором в наибольшей степени проявляется нелинейность характеристики $M = f(\Theta)$ на периоде коммутации (рис. 2).

При проведении исследований диапазоны изменения α_s и α_r были приняты следующими: $[\alpha_r \in [0.25; 0.5]; \alpha_s \in [0.3; 0.7]]$. Это позволило охватить практически всю область возможного изменения этих коэффициентов.

По результатам исследований построены линии равного уровня функций $K_{\Pi} = f(\alpha_s, \alpha_r)$ (рис. 3), $M_{cp} = f(\alpha_s, \alpha_r)$ (рис. 4) и $K_L = f(\alpha_s, \alpha_r)$ (рис. 5), полученные путем аппроксимации двумерными сплайнами результатов расчета магнитного поля.

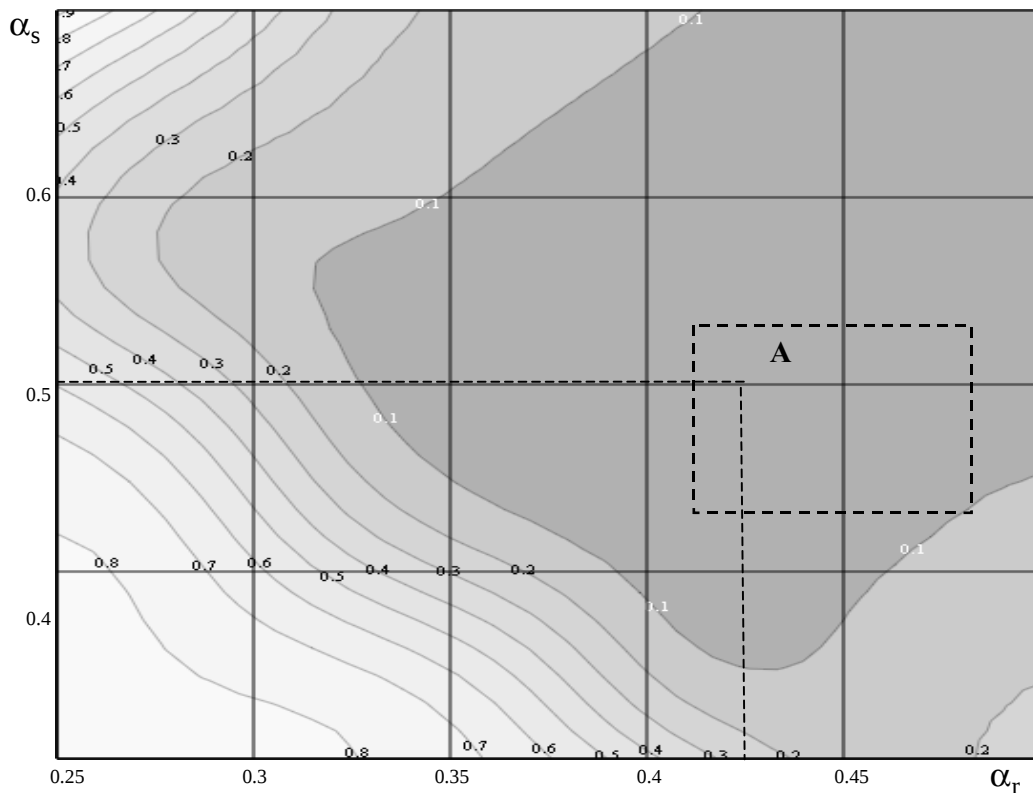


Рис. 3. Уровни коэффициента пульсаций момента ВРД, $K_{\Pi} = f(\alpha_s, \alpha_r)$

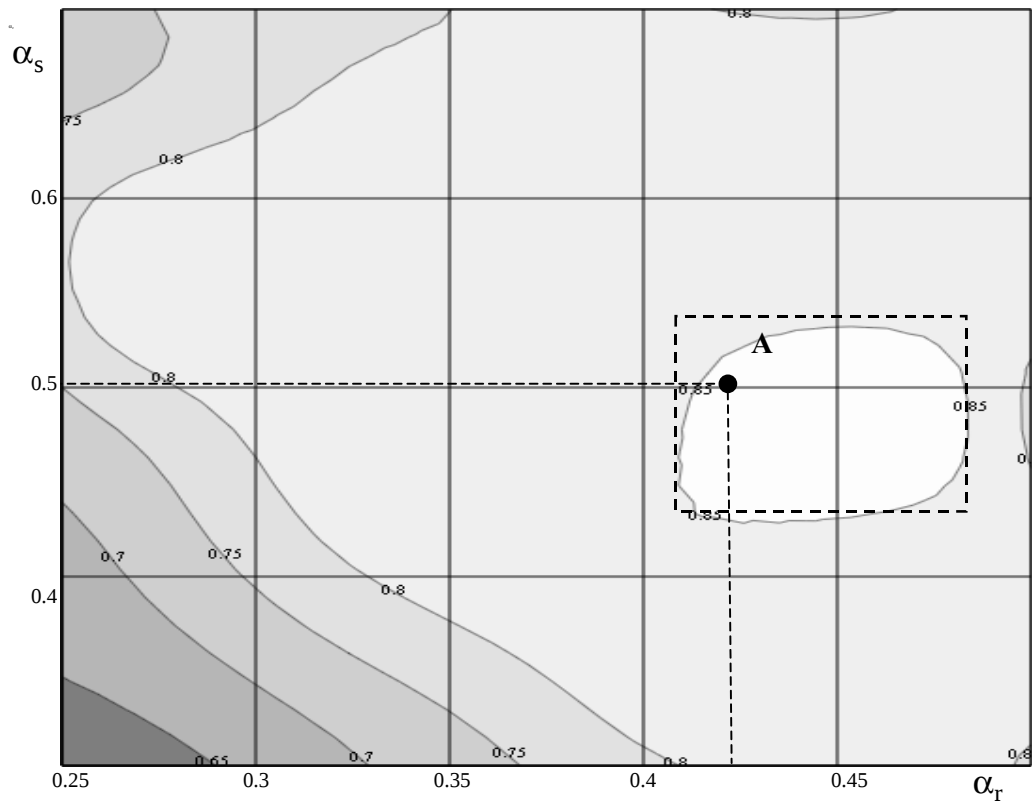


Рис. 4. Уровни среднего момента ВРД, $M_{cp} = f(\alpha_s, \alpha_r)$

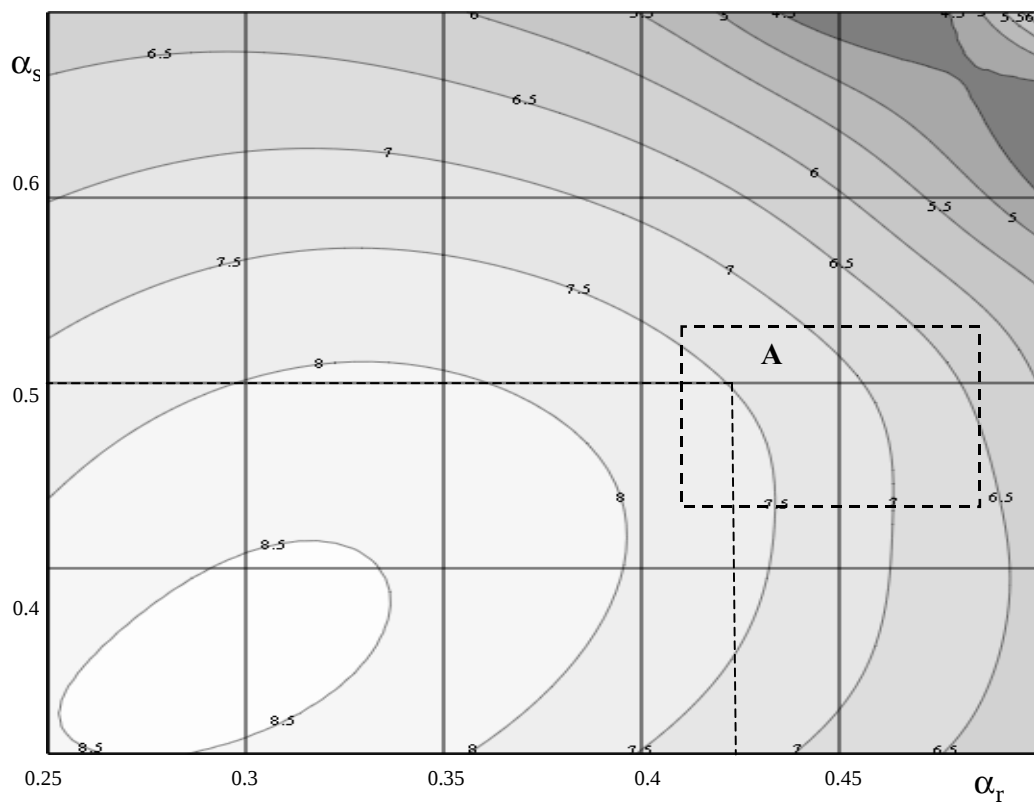


Рис. 5. Уровни коэффициента индуктивности, $K_L = f(\alpha_s, \alpha_r)$

Из представленного графического материала следует, что области экстремумов функций $K_{\Pi} = f(\alpha_s, \alpha_r)$ и $M_{cp} = f(\alpha_s, \alpha_r)$ совпадают. Однако, экстремум функции $M_{cp} = f(\alpha_s, \alpha_r)$ выражен более четко, что позволяет использовать линии уровня M_{cp} в качестве дополнительной информации для более точного выбора значений коэффициентов α_s и α_r . Максимальный средний момент и минимальный уровень пульсаций обеспечиваются при $\alpha_s = 0.5$ и $\alpha_r = 0.42$, и эти величины составляют соответственно $M_{cp} = 0.86 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $K_{\Pi} = 0.054$, что отмечено точкой А на рис. 3, 4, 5. При проектировании для обеспечения максимальной величины M_{cp} могут быть рекомендованы значения коэффициентов полюсного перекрытия, находящиеся в диапазонах $[\alpha_r \in [0.41; 0.48]$; $\alpha_s \in [0.42; 0.53]]$ (пунктирная линия на рис. 4). Коэффициент K_{Π} не превышает в этой области 10 % (пунктирная линия на рис. 3), коэффициент K_L при этом лежит в пределах $[6.5; 7.8]$ (пунктирная линия на рис. 5). Отметим, что максимальное значение коэффициента индуктивности K_L не совпадает с максимумом M_{cp} и минимумом K_{Π} . Следовательно, величина отношения индуктивностей фазы обмотки статора в согласованном и рассогласованном положениях является второстепенным фактором при проектировании ВРД.

1. Ткачук В. Електромеханотроніка: Навч. посібник. – Львів, 2001. – 404 с. 2. Miller T.J.E. Switched Reluctance Motors and their Control. – Magna Physics Publishing and Clarendon Oxford Press, 1993. – 203 p. 3. Krishnan R. Switched Reluctance Motor Drives. Modeling, Simulation, Analysis, Design and Applications. – CRC Press, 2001. – 398 p. 4. Радимов И.Н., Рымиша В.В., Малеваный О.Е. Моделирование режимов работы вентильного индукторного двигателя // Електротехніка і електромеханіка. – 2002. – № 2. – С. 60–64. 5. Рымиша В.В., Радимов И.Н., Порайко А.С. Расчет статического электромагнитного момента вентильно-реактивного двигателя модифицированным методом натяжений // Електромашинобудування та електрообладнання: Респ. міжвід. наук.-техн. зб. – 2003. – Вип. 60. – С. 35–38.

УДК: 62-83::621.313.3