

РАДИАЛЬНЫЕ СИЛЫ В ВЕНТИЛЬНО-РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ

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: rimsa@omsp.od.ua, npo@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: npo@omsp.od.ua

Чан Тхи Тху Хыонг, студентка

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

Представлены результаты расчета радиальных электромагнитных сил (ЭМС), возникающих в результате эксцентриситета ротора, для двух вариантов четырехфазных вентильно-реактивных двигателей (ВРД) с числами полюсов 8/6 и 16/12. Показано, что по критерию минимума радиальных ЭМС предпочтительной является конструкция ВРД 16/12.

Наведено результати розрахунку радіальних електромагнітних сил (ЕМС), що виникають в наслідок ексцентриситету ротору, для двох варіантів чотирифазних вентильно-реактивних двигунів (ВРД) з числами полюсів 8/6 та 16/12. Показано, що по критерію мінімуму радіальних ЕМС переважною є конструкція 16/12.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вентильно-реактивные двигатели (ВРД) являются объектом интенсивных исследований в связи с расширением сфер их применения в системах регулируемого электропривода [1,2]. ВРД интересны тем, что имеют простую и технологичную конструкцию электромеханического преобразователя энергии, отличающуюся наличием катушечной обмотки на статоре и безобмоточным ротором. Исходя из того, что магнитный поток в этих машинах создается только МДС обмотки статора, для уменьшения тока намагничивания воздушный зазор ВРД должен выполняться минимально возможным по технологическим соображениям. В этом случае такие факторы, как допуски и посадки при изготовлении деталей ВРД, допуск на радиальное смещение внутреннего кольца подшипника и износ подшипников в процессе эксплуатации двигателя, изменение размеров посадочных мест в результате ремонта ВРД и т.д., оказывают существенное влияние на равномерность воздушного зазора. Эксцентриситет воздушного зазора приводит к перераспределению магнитного поля и, как следствие, к небалансу радиальных электромагнитных сил (ЭМС), действующих на ротор ВРД [3]. Небаланс радиальных ЭМС вызывает увеличение нагрузки на подшипники, деформацию статора и ротора, усиление вибрации и шума. Исходя из этого важной для практики задачей является исследование и анализ радиальных ЭМС при эксцентриситете ротора в различных конструктивных

исполнениях ВРД.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследований приняты два конструктивных исполнения четырехфазных ВРД:

- с числом полюсов статора $Z_S = 8$, ротора $Z_R = 6$ (ВРД 8/6) (рис. 1,а);
- с числом полюсов статора $Z_S = 16$, ротора $Z_R = 12$ (ВРД 16/12) (рис. 1,б).

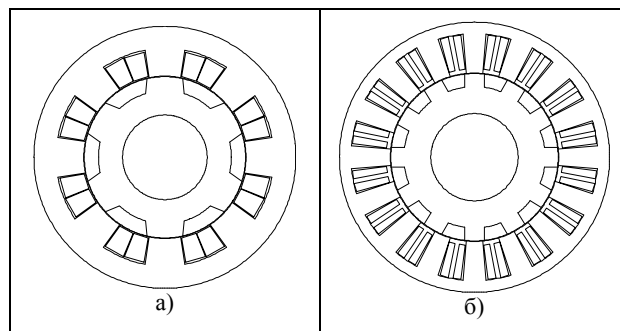


Рис. 1. Конструктивные исполнения ВРД

Каждый из указанных конструктивов имеет свои преимущества. Так, ВРД 8/6, по сравнению с ВРД 16/12, имеет меньшую частоту переключения фаз и, следовательно, меньшие потери в стали, вдвое меньшее число воздушных зазоров для проведения магнитного потока, он проще в изготовлении. В то же время ВРД 16/12 отличает улучшенный теплоотвод от катушек обмотки статора благодаря меньшему

сечению каждой катушки фазы и меньшему вылету лобовых частей.

Исследуемые ВРД выполнены с геометрическими размерами, приведенными в табл. 1.

Таблица 1
Основные геометрические размеры

Наименование	8/6	16/12
Внешний диаметр статора, мм	130	130
Диаметр ротора, мм	80	80
Активная длина, мм	80	80
Воздушный зазор, мм	0,25	0,25
Ширина зубца статора, мм	16	8
Ширина зубца ротора, мм	17,6	8,8
Сечение меди катушки, мм ²	47,4	34

Радиальные ЭМС исследовались при смещении ротора от оси вращения на величину $\Delta\delta = (10, 20, \dots, 80)\% \cdot \delta$, где $\delta = 0,25$ мм - воздушный зазор при отсутствии эксцентриситета.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования радиальных ЭМС выполнялись на основе конечноэлементных полевых математических моделей [4] (рис. 2).

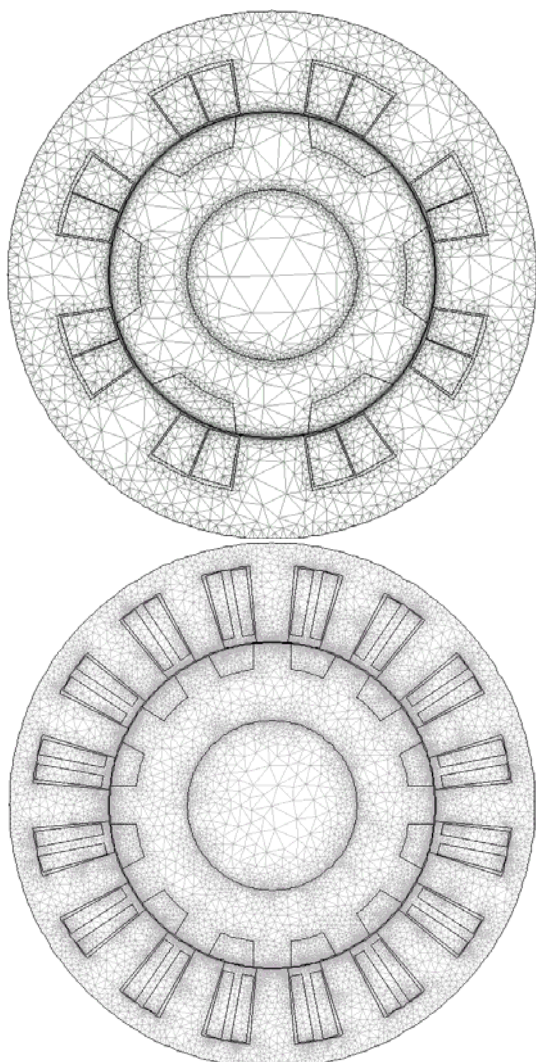
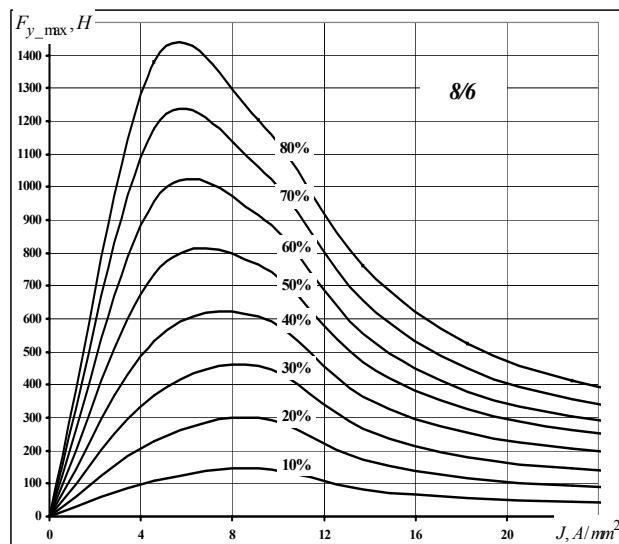


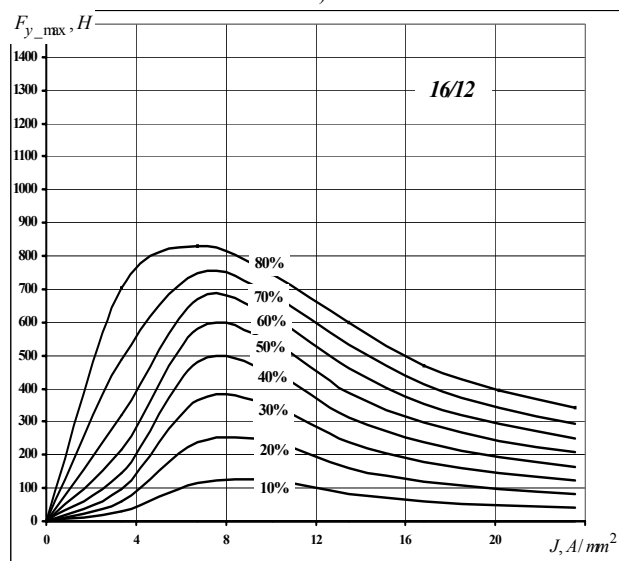
Рис. 2. Конечноэлементные модели ВРД

При проведении полевых расчетов плотности тока в проводниках обмоток статора принимались одинаковыми.

На рис. 3 представлены результаты расчетов максимальных значений небалансных радиальных сил F_{y_max} , имеющих место при согласованном положении полюсов ротора и возбуждаемых полюсов статора, в зависимости от плотности тока J при различном эксцентриситете $\Delta\delta$ (рис. 3,а – ВРД 8/6, рис. 3,б – ВРД 16/12).



а)



б)

Рис. 3. Зависимости $F_{y_max} = f(J)$ при $\Delta\delta = \text{var}$

Из рис. 3 видно, что с ростом J электромагнитная сила возрастает, достигает максимума и затем уменьшается. Это связано с перераспределением магнитного поля при эксцентриситете, насыщением участков магнитной системы ВРД, что иллюстрируется картинками магнитного поля, представленными на рис. 4. Картины магнитного поля исследуемых двигателей представлены при $\Delta\delta = (50\%) \cdot \delta$ для двух вариантов плотности тока J . На рис. 4,а,в плотность тока соответствует малому

насыщению магнитной системы ВРД, при котором наблюдается максимальная сила F_{y_max} , а на рис. 4,б,г плотность тока соответствует глубокому насыщению магнитной системы ВРД, что характерно для режимов пуска и перегрузки.

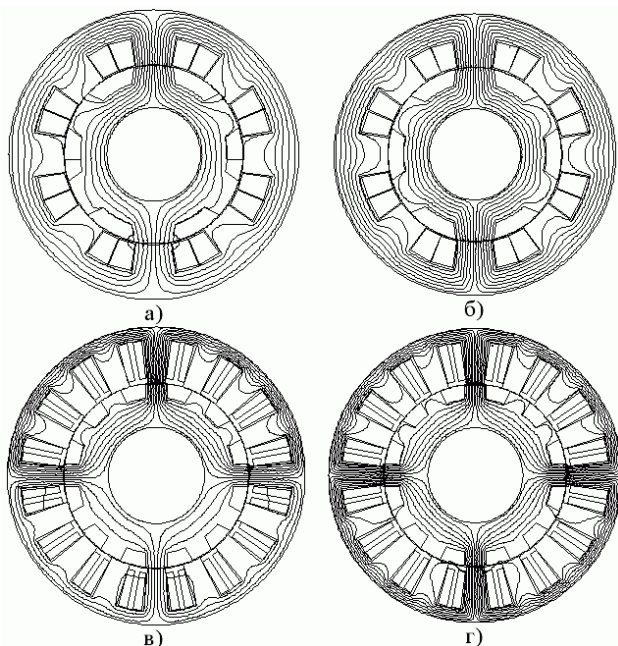


Рис. 4. Распределение магнитного поля при 50%-ном эксцентриситете

Из представленных на рис. 4 результатов видно, что при малой степени насыщения магнитной системы плотность силовых линий в верхней части магнитопровода, где воздушный зазор минимальный, выше, чем в нижней части. Соответственно, сила, действующая на верхнюю часть ротора, намного превышает силу, действующую на нижнюю часть ротора. При глубоком насыщении магнитной системы ВРД плотности силовых линий в верхней и нижней части магнитопровода приближаются друг к другу. Тогда величина небаланса ЭМС уменьшается, хотя каждая из действующих на противоположные стороны ротора сил увеличивается.

На рис. 5 показаны зависимости максимальной небалансной силы F_{max} от величины эксцентриситета ротора для ВРД 8/6 и ВРД 16/12.

Из рис. 5 видно, что в пределах наиболее вероятных значений эксцентриситета $\Delta\delta = (10, \dots, 40)\% \cdot \delta$ расхождение между силами F_{max} для сравниваемых вариантов ВРД не превышает 27%. При большей величине эксцентриситета это расхождение увеличивается и достигает 67% при эксцентриситете $\Delta\delta = 80\% \cdot \delta$.

Следовательно, приведенные результаты показывают, что по критерию минимума величины радиальных сил предпочтение следует отдать конструкции ВРД 16/12.

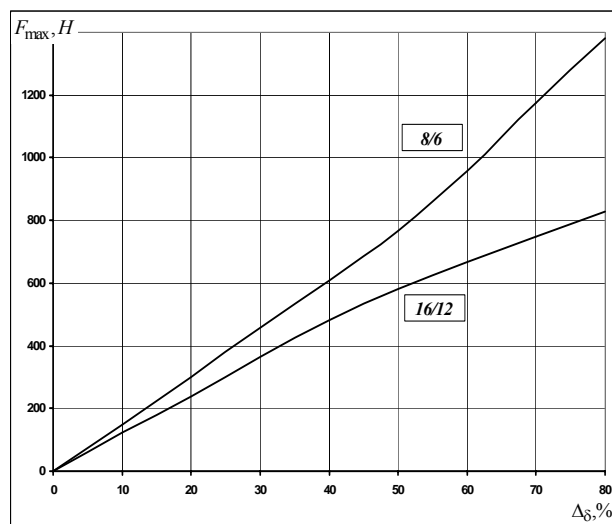


Рис. 5. Зависимость $F_{max} = f(\Delta\delta)$

В то же время при проектировании ВРД следует обратить внимание на выбор высоты яра статора, т.к. ее величина при расчете по рекомендуемому в [1] значениям для конструкции 16/12 получается вдвое меньше, чем для конструкции 8/6. В этой ситуации рекомендуется проведение не только электромагнитных, но и механических расчетов деформации статора ВРД из-за действия радиальных сил.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Krishnan R. Switched Reluctance Motor Drives. Modeling, Simulation, Analysis, Design and Applications. – CRC Press, 2001. – 398 p.
- [2] Ткачук В. Електромеханотроніка: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”. 2001. – 404 с.
- [3] N.R.Garrigan, W.L.Soong, C.M.Stephens, A.Storace, T.A.Lipo. Radial force characteristics of a switched reluctance machine // IEEE-IAS Conf. Rec. Phoenix, AZ. October 1999. Vol. 4. pp. 2250-2258.
- [4] Радимов И.Н., Рымша В.В., Малеваный О.Е. Моделирование режимов работы вентильного индукторного двигателя // Електротехніка і електромеханіка. – 2002. – № 2. – С. 60-64.