

СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПАССИВНЫМ И АКТИВНЫМ РОТОРОМ

Антонов А.Е., д.т.н., с.н.с.
Институт электродинамики АН Украины
Украина, 03056, г. Киев, просп. Перемоги, 56
Тел. (044) 454-24-61

Радимов И.Н., к.т.н., доц.
Научно-производственное предприятие "Одесмонтажспецпроект"
Украина, 65005, г. Одесса, ул. Дальницкая, 23
Тел. (048) 738-58-55, E-mail: npo@omsp.od.ua

Рымша В.В., к.т.н., доц.
Одесский национальный политехнический университет
Украина, 65044, Одесса, пр. Шевченко, 1, ИЭЭ, кафедра электрических машин
Научно-производственное предприятие "Одесмонтажспецпроект"
Украина, 65005, г. Одесса, ул. Дальницкая, 23
Тел. (048) 738-58-55, E-mail: rimsha@omsp.od.ua, npo@omsp.od.ua

Представлены результаты сопоставительного анализа низкоскоростных регулируемых вентильных двигателей с постоянными магнитами (ВДПМ) и вентильно-реактивных двигателей (ВРД). Основным критерий при сравнении – величина электромагнитного момента.

Наведено результати порівняльного аналізу низькошвидкісних регульованих вентильних двигунів з постійними магнітами (ВДПМ) та вентильно-реактивних двигунів (ВРД). Основний критерій при порівнянні – величина електромагнітного моменту.

Во многих современных устройствах требуется применение безредукторного регулируемого электропривода, обеспечивающего получение низких скоростей вращения при большой величине крутящего момента. Для этого может использоваться электропривод с вентильным двигателем с постоянными магнитами (ВДПМ) и электропривод с вентильно-реактивным двигателем (ВРД) как, например, это сделано для мотор-колес легких транспортных средств [1,2]. В то же время целесообразность применения для указанной цели каждого из перечисленных выше электроприводов требует обоснования с точки зрения развиваемого двигателем электромагнитного момента.

Цель настоящей статьи – сопоставительный анализ ВДПМ и ВРД по величине развиваемого удельного электромагнитного момента в одних и тех же габаритах.

При анализе сопоставлялись двигатели, технические данные которых приведены в таблице. Из таблицы видно, что габаритные размеры активной части двигателей одинаковые. Обмотка статора ВДПМ и ВРД выполняется катушечной (шаг $u=1$) с малыми лобовыми частями. И если в случае ВРД это является правилом, то в случае ВДПМ это возможно при многополюсной конструкции двигателя (см. таблицу), для которой число пазов на полюс и фазу равно $\frac{3}{8}$.

Оба двигателя требуют наличия силового инвертора и датчика положения ротора.

Таблица

Данные	ВДПМ	ВРД
Наружный диаметр статора, мм	130	130
Диаметр ротора, мм	81	81
Длина пакета, мм	60	60
Диаметр вала, мм	36	36
Воздушный зазор, мм	0,75	0,25
Число зубцов статора	18	16
Число полюсов (зубцов) ротора	16	12
Площадь окна под обмотку, мм ²	195	190
Число фаз обмотки статора	3	4
Число витков катушки фазы	46	46
Марка стали магнитопровода	2013	2013
Наличие постоянных магнитов	+	-

У ВДПМ силовой инвертор построен по мостовой схеме, у ВРД – по полумостовой схеме. В качестве датчика положения ротора ВДПМ удобно использовать датчик Холла. Датчик положения ротора ВРД выполняется оптическим.

Электромагнитный момент $M_{ЭМ}$, развиваемый ВДПМ и ВРД, будем определять методом [3] на основе результатов численного расчета магнитного поля (рис. 1) при одинаковом значении действующего эквивалентного тока фазы двигателя $I_{ЭКВ}$, определяющего величину тепловых (греющих) потерь. Значение $I_{ЭКВ}$ будем находить, учитывая следующие соображения. В режиме регулирования ток фазы I_{Φ} (ВДПМ и ВРД) форсированно растет до

уровня токоограничения $I_{\Phi \max}$ и также быстро спадает.

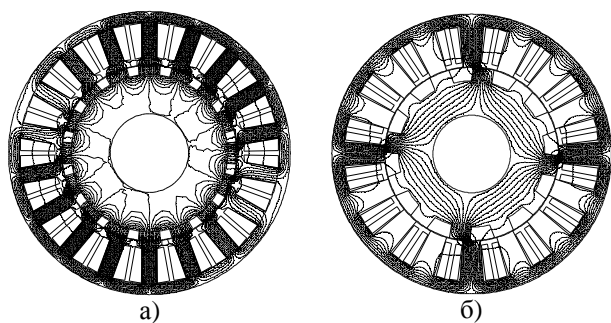


Рис. 1. Магнитное поле ВДПМ (а) и ВРД (б)

Время фронтов I_{Φ} несоизмеримо мало по сравнению со временем его действия на уровне $I_{\Phi \max}$. Исходя из этого принимаем форму тока I_{Φ} прямоугольной.

Тогда для четырехфазной системы ВРД время нахождения одной фазы под током составляет $\frac{1}{4}$ периода T циклической коммутации всех фаз (рис. 2) и значение $I_{\text{ЭКВ}}$:

$$I_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{\int_0^{T/4} I_{\Phi}^2 dt}{T}} = 0,5 \cdot I_{\Phi \max_ВРД}, \quad (1)$$

где $I_{\Phi \max_ВРД}$ - максимальное значение тока фазы ВРД.

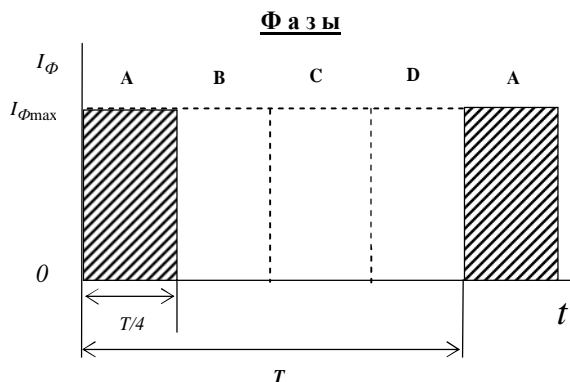


Рис. 2. Диаграмма токов ВРД

Аналогично, для трехфазной системы ВДПМ время нахождения одной фазы под током составляет $\frac{2}{3}$ периода T циклической коммутации всех фаз при 120 - градусной коммутации транзисторов силового инвертора (рис. 3) и значение $I_{\text{ЭКВ}}$:

$$I_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{\int_0^{2T/3} I_{\Phi}^2 dt}{T}} = 0,816 \cdot I_{\Phi \max_ВДПМ}, \quad (2)$$

где $I_{\Phi \max_ВДПМ}$ - максимальное значение тока фазы ВДПМ.

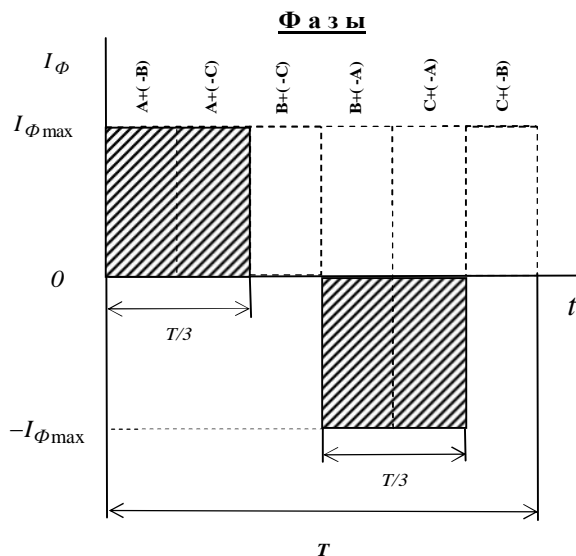


Рис. 3. Диаграмма токов ВДПМ

Принимая, что максимальный ток фазы одного из двигателей известен, например ВРД, и приравняв (1) и (2), получим выражение для максимального тока фазы ВДПМ:

$$I_{\Phi \max_ВДПМ} = 0,613 \cdot I_{\Phi \max_ВРД}. \quad (3)$$

Исходя из вышеизложенного для ВРД и ВДПМ были рассчитаны зависимости $M_{\text{ЭМ}} = f(I_{\text{ЭКВ}}, \Theta)$, где Θ - угол рассогласования статора и ротора в электрических градусах. В качестве примера на рис. 4 представлены зависимости $M_{\text{ЭМ}} = f(\Theta)$ при $I_{\text{ЭКВ}} = 8\text{A}$, что соответствует значениям $I_{\Phi \max_ВРД} = 16\text{A}$ и $I_{\Phi \max_ВДПМ} = 9,808\text{A}$.

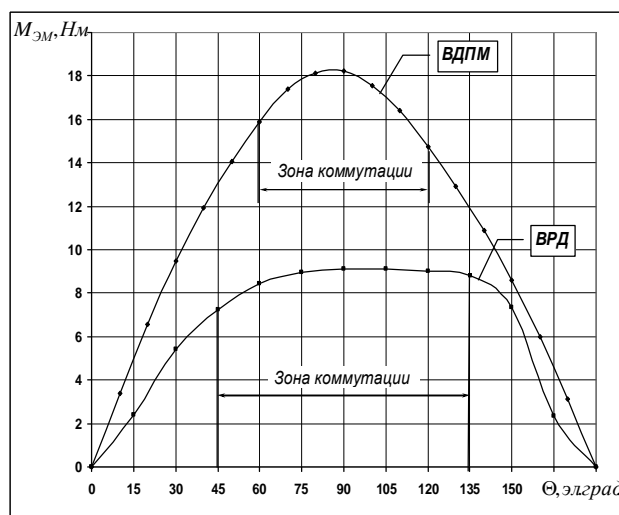


Рис. 4. Зависимости $M_{\text{ЭМ}} = f(\Theta)$ для ВРД и ВДПМ при $I_{\text{ЭКВ}} = 8\text{A}$

Полученные зависимости $M_{ЭМ} = f(I_{ЭКВ}, \Theta)$ позволили определить среднюю (за период коммутации) величину электромагнитного момента $M_{ср}$ для ВРД и ВДПМ, а также оценить коэффициент пульсаций $K_{пульс.}$ электромагнитного момента (рис. 5, 6).

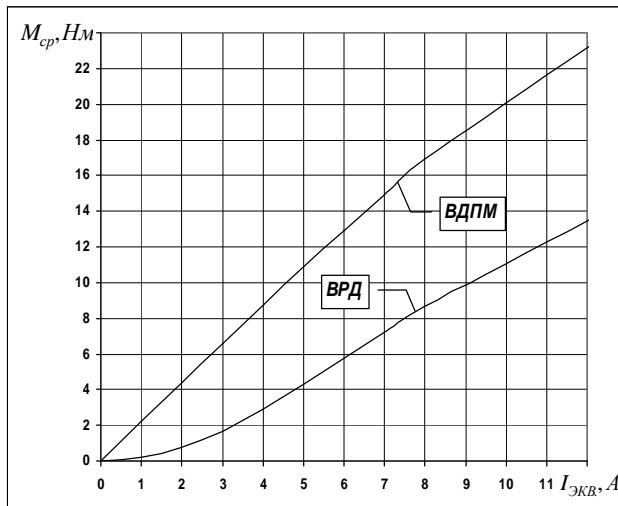


Рис. 5. Зависимости $M_{ср} = f(I_{ЭКВ})$

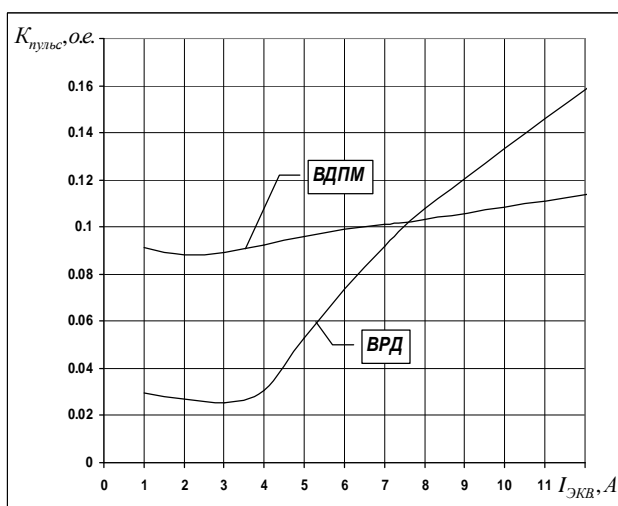


Рис. 6. Зависимости $K_{пульс.} = f(I_{ЭКВ})$

Представленные результаты позволяют сделать следующие **выводы** для низкоскоростных электродвигателей рассматриваемых конструкций:

1. По величине удельного (на единицу массы активной части) развиваемого электромагнитного момента ВДПМ имеют существенный выигрыш по сравнению с ВРД.

2. Токи силового инвертора ВРД значительно превышают токи силового инвертора ВДПМ при обеспечении требуемой величины электромагнитного момента. Следовательно, коэффициент полезного действия электропривода с ВРД будет ниже коэффициента полезного действия электропривода с ВДПМ.

3. Коэффициент пульсаций электромагнитного момента ВДПМ практически не изменяется с

проявлением эффекта насыщения стали магнитопровода, в то время, как коэффициент пульсаций ВРД существенно зависит от уровня насыщения магнитной системы двигателя.

4. Конструкция ротора ВРД более проста и технологична по сравнению с конструкцией ротора ВДПМ. На роторе ВДПМ располагаются постоянные магниты, что приводит к необходимости их крепления тем или иным способом (например, специальными бандажами), что увеличивает стоимость изготовления ротора.

5. Существенным недостатком ВДПМ является расшатывание постоянных магнитов под действием вибрации, что приводит к нарушению крепления постоянных магнитов и выходу двигателя из строя. В этом отношении ВРД более надежны и могут быть рекомендованы к применению в устройствах, где присутствуют жесткие механические и вибрационные воздействия, а также в устройствах с ограниченным или удаленным доступом к обслуживанию.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лопухина Е.М., Семенчуков Г.А., Авдонин А.Ф., Захаренко А.Б. Новый тихоходный вентильный двигатель с постоянными магнитами для мотор-колес // Электричество. – 2000. - № 6. – С. 54-60.
- [2] Ильинский Н.Ф., Бычков М.Г. Вентильно-индукторный привод для легких электрических транспортных средств // Электротехника. – 2000. - № 2. – С. 28-31.
- [3] Рымша В.В., Радимов И.Н., Порайко А.С. Расчет статического электромагнитного момента вентильно-реактивного двигателя модифицированным методом натяжений // Электромашинобудовання та електрообладнання. – 2003.- Вип. 60. – С. 35-38.