

УДК621.313.13

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И УЛУЧШЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ

Полоневич П.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

Первые исследования двигателя с катящимся ротором (ДКР) были начаты в 1944 г. Москвитиним, а позднее конструкции ДКР и процессы электромагнитного преобразования энергии в них наиболее полно освещены в работах Шон Р., Бертинов А.И., Борзяк Ю.Г., Варлей В.В., Зайков М.А., Наний В.П., а также в работах G. Kaminski, H. Wrotek, A. Viviani и других. Однако среди современного ряда предлагаемых электродвигателей (двигателей постоянного тока, асинхронных и синхронных двигателей, шаговых двигателей, линейных двигателей) Вы с трудом найдёте ДКР. Поэтому для начала рассмотрим принцип действия данного типа двигателя.

ДКР относятся к синхронным ре активным двигателям, основным отличием которых является отсутствие обмотки на роторе. Это тихоходные электродвигатели с высоким вращающим моментом и низкой частотой вращения вала. Другой принципиальной особенностью ДКР, отличающей их от других машин, является эксцентричное расположение ротора в расточке статора. Вращающий момент здесь создается за счет сил одностороннего магнитного притяжения (СОМП).

Принцип действия ДКР рассмотрим с помощью рисунка 1, на котором изображен статор с эксцентрично расположенным ротором. Допустим, что обмотка статора создает несимметричное магнитное поле, максимум которого в данный момент приходится на т.А. Несимметричное поле создает СОМП, под действием которой ротор будет соприкасаться со статором в той же т. А (рис.1, а). По мере вращения магнитного поля сила одностороннего притяжения перемещается по расточке статора с синхронной скоростью. В любой момент времени ее можно разложить на составляющие F_x и F_y (рис. 1, б). Видно, что F_x , притягивая ротор к статору, заставляет его катиться по внутреннему диаметру последнего с синхронной скоростью. Ротор же медленно поворачивается вокруг собственного центра, причем в противоположном направлении. (На рис. 1. поле статора повернулось на 45° против часовой стрелки, а точка p , принадлежащая телу ротора, повернулась по часовой стрелке на угол φ_p , который заметно меньше 45°). Это вращение и является выходным.

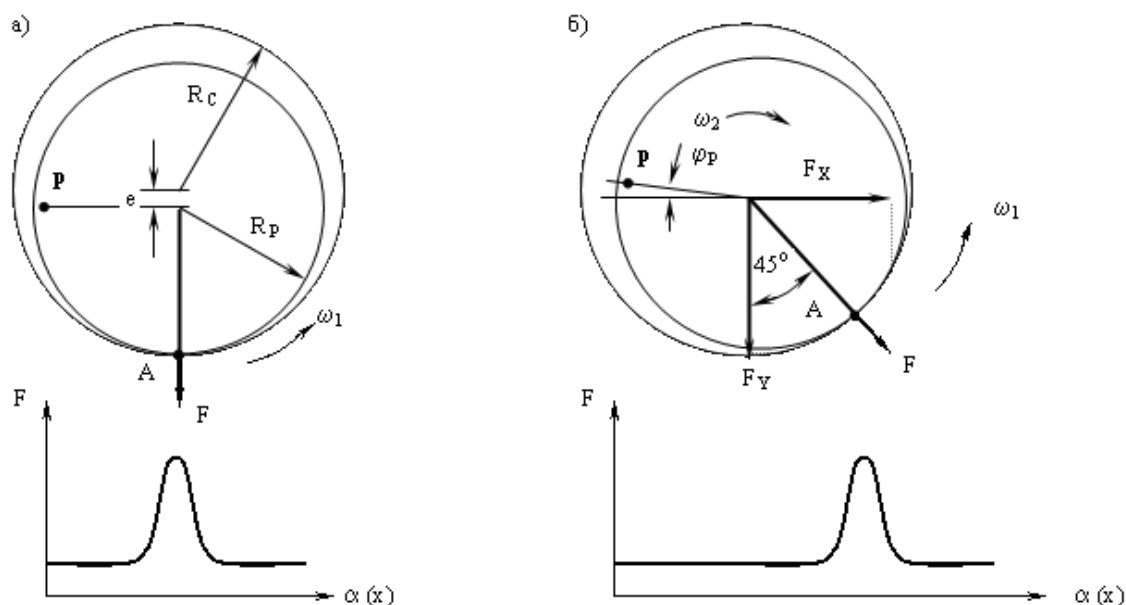


Рисунок 1. Принцип действия ДКР

В конечном итоге при повороте поля статора на один оборот ($j_c = 2\pi$) ротор повернется на угол, равный разности длин окружностей статора и ротора, деленной на радиус ротора R_p :

$$\varphi_p = \frac{2\pi R_c - 2\pi R_p}{R_p} = 2\pi \frac{R_c - R_p}{R_p}$$

Переходя к частоте вращения и учитывая, что $\omega_1 = 2\pi$, получим

$$\omega_2 = \omega_1 \frac{R_c - R_p}{R_p}$$

Так как в ДКР $(R_c - R_p)/R_p \ll 1$, то ω_2 существенно меньше ω_1 , т.е. коэффициент редукции здесь весьма значительный:

$$k_{ред} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_p}{R_c - R_p}$$

В ДКР различают два момента: электромагнитный момент $M_{ЭМ}$, вызывающий вращение центра ротора вокруг центра статора со скоростью n_1

$$M_{ЭМ} = F_x \cdot e$$

и момент M_2 , приложенный к ротору и вызывающий медленное вращение ротора вокруг собственного центра со скоростью n_2 .

$$M_2 = -F_T \cdot R_p$$

где: F_T – сила, возникающая в точке касания ротора о статор, равная по значению F_x и противоположной ей направленной.

Двигатели с катящимся ротором могут работать в синхронном и асинхронном режимах. Определяется это соотношением силы трения F_T в точке касания и составляющей F_x . Если $F_T > F_x$, проскальзывание невозможно и ДКР работает в синхронном режиме. В противном случае ротор вращается с проскальзыванием и машина переходит в асинхронный режим.

Основным достоинством ДКР является возможность его использования в безредукторном электроприводе. Скорость вращения выходного вала двигателя при частоте питающей сети 50 Гц может достигать 2-200 об/мин. ДКР развивают большой вращающий момент (номинальный и «пусковой»). Вес ДКР, приходящийся на единицу мощности, соизмерим с относительным весом электропривода, состоящего из быстроходного электродвигателя и редуктора. Безредукторный электропривод с ДКР имеет хорошие динамические свойства. Это обусловлено тем, что приведенный момент инерции ротора двигателя весьма мал. Время разгона ДКР практически во всем диапазоне мощностей не превышает 0,01 с (при частоте питающей сети 50 Гц). ДКР может быть относительно просто реверсирован путем переключения следования фаз обмотки переменного тока. При этом время реверса примерно равно 0,015-0,025 с. Наряду с хорошими временными показателями пуска ДКР имеет кратность пускового тока порядка 2-3.

В системах автоматизированного электропривода во многих случаях необходимо, чтобы при отсутствии сигнала рассогласования привод обеспечивал самоторможение. Использование в этом случае ДКР в качестве приводного двигателя является также рациональным. ДКР при отключении питания по переменному току развивает большой тормозной момент, который зачастую может превышать номинальный вращающий электромагнитный момент. Синхронный ДКР с подмагничиванием можно также использовать в качестве электромагнитного тормоза.

Применение ДКР в системах автоматизированного электропривода исключает необходимость использования тормозных муфт и самотормозящихся кинематических звеньев. Последние, как известно, существенно снижают общий КПД электропривода.

ДКР имеют относительно высокие значения коэффициента мощности, который может быть и опережающим.

ДКР благодаря своей способности к «мгновенной» остановке и разгону находят применение в приводах точных механизмов: нониуса копировальных станков, для намотки реохордов, потенциометров, проволочных датчиков сопротивлений, в часовых механизмах, резальных машинах, в различных системах телеметрического управления, например, для

привода «механических рук» при точных манипуляциях с радиоактивными продуктами. Двигатель устанавливается непосредственно для привода рукояток управления различных машин, движков реостатов и потенциометров, подвижных стрелок контроля.

Несмотря на малую известность и популярность ДКР сегодня, во второй половине 20 века было разработано множество конструкций и разновидностей электрических машин с катящимся ротором (ЭМКР). В первую очередь конструкция ДКР зависит от выбора типа питающей сети, а также наличия преобразователя для управления работой двигателя. Для сети переменного напряжения необходимо иметь две обмотки: одна обмотка для униполярного подмагничивания, а вторая для создания вращающегося магнитного поля. В конструкциях ДКР, работающих от сети постоянного тока необходимо наличие устройства, коммутирующего поочередно катушки статора для создания СОМП.

Также существуют конструкции асинхронных ДКР, синхронных ДКР, синхронные ДКР с волновым ротором, синхронные ДКР с дисковым ротором, реактивный трехфазный ДКР с вентильным подмагничиванием, ДКР постоянного тока, шаговые ДКР, двигатели-насосы и др. Конструкции вышеприведенных ДКР рассмотрены в [1].

Таким образом в области ЭМКР имеется широкий спектр разработок перспективных в своем применении, т.к. ДКР имеют значительное количество достоинств. Эти достоинства позволяют ЭМКР конкурировать с классическими системами электроприводов. Применяемые сегодня материалы (электротехнические стали, постоянные магниты) имеют лучшие характеристики, чем материалы 50-х 80-х годах 20 века, что позволяет вновь взяться за усовершенствование существующих конструкций ЭМКР. В частности, целесообразно рассмотреть ротор с постоянными магнитами, что увеличит СОМП, и, следовательно, увеличит вращающий момент и мощность машины на единицу массы.

Литература

1. Бертинов А.И. Электрические машины с катящимся ротором / Бертинов А.И., Варлей В.В. – М.: Энергия, 1969. – 200 с.
2. Борзяк Ю.Г. Электродвигатели с катящимся ротором / Борзяк Ю.Г., Зайков М.А., Наний В.П. – К.: Техніка, 1982. – 120 с
3. В. В. Наний. Движение ротора в электродвигателе с катящимся ротором / В. В. Наний, В. А. Лыках, А. М. Масленников. – Харьков: Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 3/2014 (86). – с. 9-13.