

**В.В. НАНИЙ**, канд. техн. наук,  
**А.Г. МИРОШНИЧЕНКО**, канд. техн. наук,  
**В.Д. ЮХИМЧУК**, канд. техн. наук,  
**А.А. ДУНЕВ**

## УГОЛ НАГРУЗКИ ДВИГАТЕЛЯ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Розглянуто питання визначення кута навантаження двигуна з ротором, що котиться, при фрикційному створенні обертового моменту. Надана залежність максимального його значення від сили тертя качення при вертикальному виконанні.

Рассмотрен вопрос определения угла нагрузки двигателя с катящимся ротором и показана зависимость максимального его значения от силы трения качения при вертикальном исполнении машины.

Для синхронно-реактивного двигателя (СРД) фрикционного типа актуальным является вопрос синхронизма, т.е. обкатывания ротора по статору без проскальзывания. Как и в обычных синхронных машинах, решение этого вопроса зависит от определения максимального значения угла нагрузки  $\Theta_{max}$ , которому соответствует максимальный момент на валу машины.

В ДКР фрикционного типа  $\Theta_{max}$  во многом зависит от величины силы трения качения, возникающей по линии касания ротора со статором.

В работе рассматривается ДКР вертикального исполнения, что позволяет при расчетах не учитывать влияния силы тяжести ротора двигателя на формирование результирующей силы одностороннего магнитного притяжения ротора к статору. Такое допущение не снижает практического значения приводимых ниже исследований, т.к. ДКР вертикального исполнения могут применяться в 50% электроприводов устройств автоматики.

Рассмотрим систему сил, действующих в ДКР, на плоскости, считая ротор абсолютно жестким [1]. При этом линия касания ротора со статором, условно, вырождается, как показано на рисунке, в точку К.

При наличии на валу двигателя момента сопротивления (нагрузки)  $M_l$ , изображенного на рисунке в виде пары сил  $\bar{F}_l$ , приложенных к наружному диаметру ротора, точка К будет отставать от точки приложения вектора силы одностороннего магнитного притяжения  $\bar{Q}$  на угол  $\Theta$ . Приложим к точке К две силы:  $\bar{Q}'$  и  $\bar{Q}''$  - параллельные силам  $\bar{Q}$  и равные ей по модулю. При этом, сила  $\bar{Q}$  и сила  $\bar{Q}'$  образуют пару, которая стремится повернуть ротор вокруг его центра масс  $O_r$ . Момент этой пары сил будет выражен формулой:

$$M_r = \frac{1}{2} Q D_r \sin \Theta, \quad (1)$$

где  $D_r$  - диаметр ротора.

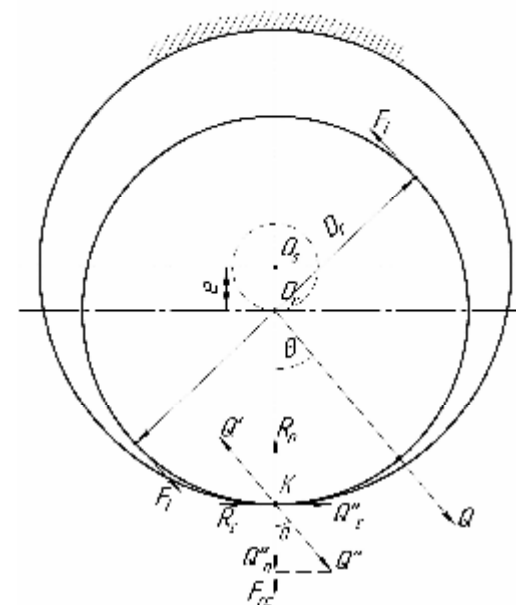


Рис. 1. Силы действующие в ДКР

Действующая на ротор в точке К сила  $\bar{Q}''$  может быть разложена на нормальную и тангенциальную составляющие:

$$Q_n'' = Q'' \cos \Theta; \quad (2)$$

$$Q_t'' = Q'' \sin \Theta. \quad (3)$$

В точке К на ротор, нормально его поверхности, действует также центробежная сила:

$$F_{rc} = m_r e \omega_k^2, \quad (4)$$

где  $m_r$  - масса ротора;  $e$  - величина эксцентриситета;  $\omega_k$  - угловая частота вращения точки К.

Силы  $\bar{Q}_n$  и  $\bar{F}_{rc}$  уравновешиваются силой реакции  $\bar{R}_n$  статора:

$$\bar{R}_n = \bar{Q}_n'' + \bar{F}_{rc}. \quad (5)$$

Помимо указанных сил, в ДКР фрикционного типа на ротор в точке К действует тангенциальная сила трения качения [2]:

$$R_{\tau} = 2K_f \frac{(Q_n'' + F_{rc})}{D_r} = 2K_f \frac{(Q'' \cos \Theta + m_r e \omega_k^2)}{D_r}, \quad (6)$$

где  $K_f$  – коэффициент трения качения.

Так как вращающий момент передается на вал ротора фрикционно, то максимальное его значение  $M_r$  ограничивается некоторым максимальным значением угла нагрузки  $\Theta_{max}$ , при котором ротор может еще обкатываться по статору практически без проскальзывания:

$$M_{rmax} = \frac{1}{2} Q D_r \sin \Theta_{max}. \quad (7)$$

Величину угла  $\Theta_{max}$  можно определить из условия равенства сил:

$$Q_{\tau max}'' = R_{\tau max}.$$

Используя уравнения (2), (3), (4), (6) и (7) получим выражение для определения максимального угла нагрузки  $\Theta_{max}$ :

$$Q'' \sin \Theta_{max} = 2K_f \frac{(Q'' \cos \Theta_{max} + m_r e \omega_k^2)}{D_r}. \quad (8)$$

Представим отношение  $2K_f/D_r$  в виде тангенса некоторого угла  $\alpha$  и поставим в выражение (8). Преобразуем его в соответствии со стандартными тригонометрическими выражениями и получим формулу для максимального угла нагрузки двигателя с катящимся ротором:

$$\Theta_{max} = \arcsin 2K_f \frac{m_r e \omega_k^2}{Q \sqrt{D_r^2 + 4K_f^2}} + \arctg 2 \frac{K_f}{D_r}. \quad (9)$$

Для ДКР с вращающим моментом (50...100) Н·м максимальный угол нагрузки будет составлять 30°...50° при фрикционном характере передачи момента, тогда как в идеальном случае (зубчатое зацепление) он может достигнуть 90°.

Приведенные в данной работе выражения справедливы для ДКР с трехфазной нераспределенной обмоткой статора, соединенной по схеме «звезда» при непосредственном питании от сети трехфазного напряжения.

**Список литературы:** 1. Борзяк Ю.Г., Зайков М.А., Наний В.П. Электродвигатели с катящимся ротором. – Киев: Техника, 1982. – 119 с. 2. Литвин В.Ф. Проектирование механизмов и деталей приборов. – Л.: Машиностроение, 1973. – 696 с.

*Поступило в редколлегию 12.05.08*

УДК 621.313

*Н.А. ОСТАШЕВСКИЙ*, канд. техн. наук,  
*В.А. ЧЕРЕВКО*, аспирант

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ДВИГАТЕЛЯ

У даній статті розглянуто існуючі методи розрахунку теплових процесів в частотно-керованому асинхронному двигуні, обґрунтовано доцільність і ефективність застосування методу еквівалентних теплових розрахункових схем заміщення при оцінці теплового стану електричної машини.

В данной статье рассмотрены существующие методы расчета тепловых процессов в частотно-управляемом асинхронном двигателе, обоснована целесообразность и эффективность применения метода эквивалентных тепловых расчетных схем замещения при оценке теплового состояния электрической машины.

В ходе исторического процесса внедрения электрических машин во все производственные сферы, сложились определенные шаблонные модели применения того или иного вида машин в определенных ситуациях. Например, для регулирования скорости вращения механизмов чаще использовали двигатель постоянного тока. Преобразователь в данном случае регулировал только напряжение, был прост и дешев. Однако двигатели постоянного тока имеют сложную конструкцию, ненадежный в эксплуатации щеточный аппарат и сравнительно дороги.

Асинхронные двигатели, напротив, широко распространены, надежны, имеют относительно невысокую стоимость, хорошие эксплуатационные качества. В настоящее время, благодаря быстрому росту рынка преобразователей частоты для асинхронных двигателей, данные машины обладают всеми характеристиками, необходимыми для их широкого внедрения в индустрию.

Для минимализации расходов отечественных предприятий на обеспечение бесперебойной работы асинхронных частотно-регулируемых двигателей, необходимо уделять большое внимание факторам, определяющим уровень эксплуатационной надежности машин. Одним из таких факторов является тепловое состояние двигателя.

Достоверная информация о текущем тепловом состоянии электродвигателя позволяет обеспечить, в первую очередь, защиту электродвигателя от возможных аварийных режимов, связанных с температурными изменениями. На стадии разработки нового электродвигателя или во время модернизации (изменения) отдельных узлов необходима информация о том, как эти работы повлияют на температурное состояние его обмоток.

При выборе асинхронного электродвигателя и проверке его по нагреву