

ТИХОХОДНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

А. М. БУРМАКИН, Е. М. ОГАРКОВ

Пермский государственный технический университет

В статье рассматриваются два варианта конструктивного исполнения тихоходных асинхронных двигателей и их сравнительный анализ.

Одной из современных тенденций развития электропривода является объединение машины – двигателя и машины – орудия, их сращивания. Такое объединение является прогрессивным и позволяет отказаться от механической передачи, упрощает установку, делает ее более надежной.

Привод обычного машинного агрегата состоит из рабочей машины, механической передачи (редуктора) и приводного электродвигателя. В связи с тем, что обычные серийные асинхронные двигатели малой мощности выпускаются со скоростью не менее 750 оборотов в минуту, для получения более низких скоростей в промышленности применяют редуктора.

Общая масса редуктора с принадлежностями составляет до 120 кг на 1 кН·м. Каждый одноступенчатый редуктор имеет десять главных поверхностей износа: четыре подшипника, четыре цапфы двух валов и две поверхности зацепления. Для смазки мощного электропривода требуется до 10 кг масла на 1 кН·м наибольшего момента, передаваемого редуктором. В системе смазки привода циркулируют тонны смазочных масел, минутный перебой в подаче смазки выводит агрегат из строя на десятки и сотни часов. Из-за износа и повреждений деталей и узлов контактного привода простои за год составляют более 15 % рабочего времени. При низких температурах окружающей среды простои еще более продолжительны: сталь зубчатых колес становится хрупкой и легко ломается, смазка твердеет и перестает выполнять свои функции.

Исходя из вышеизложенного и ряда других причин, необходимо решить задачу по расчёту и проектированию тихоходного кругового электродвигателя, благодаря которому отпала бы необходимость в применении редукторов для понижения скорости.

Критерий оптимизации электрических машин определяется, как правило, минимумом суммарных затрат, т. е. минимумом стоимости материалов, затрат на изготовление и эксплуатацию. Стоимость эксплуатации зависит от КПД, cosφ, качества машины, простоты обслуживания, надёжности в работе, ремонтоспособности и ряда других факторов.

Исходя из этого, дадим оценку вышеуказанных параметров в круговом (серийном) варианте тихоходного асинхронного двигателя.

Выполненные расчеты показывают, что тихоходный асинхронный электродвигатель малой мощности с круговым статором получается малой длины по сравнению с диаметром. Это обусловлено ограничением по индукции $B \leq 1,4$ Тл и плотности тока $J \leq 6,5$ А/м². Ограничение по индукции и плотности тока вытекает из того, что при увеличении индукции – увеличиваются потери в стали и возрастает намагничивающий ток, дальнейшее увеличение плотности тока ведёт к повышенному нагреву двигателя. Соответственно, ограничение по плотности тока дает ограничение по току I . Согласно выражению $F_{уд} = B \cdot l \cdot I$, следует, что удельное тяговое усилие $F_{уд}$ является постоянной величиной ($F_{уд} = \text{const}$). Тяговое усилие рассчитывается по формуле $F = P/V_0$. Здесь $V_0 = 2 \cdot \tau \cdot f_1$ м/с – скорость движения магнитного поля статора. Для создания тихоходного асинхронного электродвигателя с хорошими массогабаритными и энергетическими показателями должно выполняться следующее условие $\tau \geq 100 \cdot \delta$. Воздушный зазор δ тихоходных электродвигателей может быть около 0,5 мм, поэтому величина V_0 в данном случае относительно велика и при малой мощности тяговое усилие F является величиной малой.

Площадь индуктора находится через тяговое усилие и удельное тяговое усилие ($S_{инд} = F/F_{уд}$) и, как следствие, есть величина малая. Диаметр рассчитываемого двигателя напрямую зависит от скорости вращения вала $d \approx 90/n$. В виду малой скорости ($n_0 = 150$ об/мин.), диаметр получается большим. Таким образом, при малой площади индуктора и большом диаметре получаем малую длину ($l = S_{инд}/(\pi \cdot d)$).

У многополюсных машин с круговым статором, как известно, оптимальное отношение активной длины к полюсному делению l/τ близко к единице. Даже при оптимальном соотношении получаем относительно большие лобовые части, которые заметно влияют на характеристики двигателя (снижается коэффициент мощности и КПД). Так же большой диаметр и малая длина усложняют изготовление двигателя. То есть маломощные низкоскоростные асинхронные двигатели с обычным круговым статором имеют низкий КПД, сложны в изготовлении и малонадёжны.

Указанные недостатки кругового асинхронного двигателя требуют поиска лучших вариантов конструктивного исполнения тихоходных электродвигателей. Таким альтернативным решением является дугостаторный асинхронный электродвигатель.

Эти двигатели получаются большей длины по сравнению с круговыми асинхронными двигателями, вследствие того, что статор дугостаторного двигателя охватывает лишь часть поверхности ротора и для сохранения тягового усилия необходимо увеличивать длину статора. Это приведет к уменьшению влияния лобовых частей, следовательно, снизятся потери, будет выше КПД, $\cos\varphi$ и повысится надежность.

Дугостаторные двигатели имеют ещё одну особенность. При верхнем расположении дуги статора сила магнитного притяжения между статором и ротором будет стремиться поднять ротор вверх. При этом будет компенсироваться сила

тяжести ротора, и нагрузка на подшипники уменьшится. Это будет способствовать увеличению срока службы подшипников дугостаторного двигателя. При этом затраты на ремонт и обслуживание электродвигателя заметно сокращаются.

В таблице 1 приведены результаты расчётов кругового и дугового вариантов асинхронного двигателя с номинальной мощностью $P_n=4$ кВт и синхронной частотой вращения $n_0=150$ об /мин.

Таблица 1

Вариант исполнения	M_n , Н·м	M_k / M_n	$M_{п} / M_n$	I_0 , А	I_n , А	η_n	$\cos\varphi_n$	B_δ , Тл	$\Delta_c \cdot 10^6$, А/м ²	s_n	$AS \cdot 10^3$, А/м
Круговой	272,5	2,304	1,505	8,83	13,87	0,716	0,61	0,659	6,115	0,066	22,603
Дуговой	272	3,14	2,34	7,9	11,18	0,771	0,703	0,457	5,56	0,053	19,13

Используемые в таблицах условные обозначения:

- M_n – Номинальный момент;
- M_k – Критический момент;
- $M_{п}$ – Пусковой момент;
- I_0 – Ток холостого хода;
- I_n – Номинальный ток;
- $\cos\varphi_n$ – Коэффициент мощности номинальный;
- η_n – Коэффициент полезного действия номинальный;
- B_δ – Магнитная индукция в воздушном зазоре;
- Δ_c – Плотность тока в обмотке статора;
- s_n – Номинальное скольжение;
- AS – Номинальная токовая нагрузка.

Анализируя полученные данные расчётов и учитывая конструктивные особенности, можно сделать вывод о том, что маломощный тихоходный дугостаторный асинхронный двигатель предпочтительнее кругового.

В таблице 2 приведены результаты расчётов кругового и дугового вариантов асинхронного двигателя с номинальной мощностью $P_n=8$ кВт и синхронной частотой вращения $n_0=300$ об /мин.

Таблица 2

Вариант исполнения	M_n , Н·м	M_k / M_n	$M_{п} / M_n$	I_0 , А	I_n , А	η_n	$\cos\varphi_n$	s_n	$AS \cdot 10^3$, А/м
Круговой	267	2.4	1.59	6.69	16.28	0.853	0.873	0.057	13.9
Дуговой	267	3.17	1.51	7.75	18.04	0.779	0.864	0.032	15.43

Из этих результатов следует, что с ростом номинальной мощности и синхронной частоты вращения двигателя, круговой вариант исполнения обладает лучшими характеристиками по сравнению с дугостаторным вариантом. Отсюда следует вывод, что область применения дугостаторных асинхронных электродвигателей – это маломощный низкооборотный электропривод.