

идеальным решением для установки в труднодоступных местах.

Заключение. В работе представлена концепция построения беспазовых ЭМПЭ цилиндрической конфигурации с плотной пространственной упаковкой составных элементов и предложен способ повышения магнитной индукции в зазоре путём формирования комбинированных магнитных систем на основе плоских сегментов постоянных магнитов и треугольных ферромагнитных концентраторов магнитных потоков. Исследования показали также, что величина магнитной индукции в зазоре может быть весьма высока и даже превышать ве-

личину остаточной магнитной индукции используемых постоянных магнитов.

1. *Афонин А.А.* Магнитные системы электромеханических преобразователей энергии с вариацией векторов намагниченности постоянных магнитов // Техн. электродинамика. — 2004. — №1. — С. 47—55.
2. *Afonin A.* Permanent magnet brushless motors with innovative excitation systems // Proc. of the 6th Intern. Conf. on Electromechanical and Electrical Systems UEES'04. — Ukraine. 2004. — Vol. 1. — P. 27—38.
3. *Gieras J.F., Wing M.* Permanent Magnet Motor Technology. — New York: Basel: Marcel Dekker. 2002. — 590 p.
4. <http://www.ThinGap.com>.

Надійшла 15.09.2006

УДК 621.313.333

А.Н.Давыдов, канд.техн.наук. Л.В.Оноприч (НТУУ "КПИ", Киев), В.П.Оноприч, канд.техн.наук (Ин-т электродинамики НАН Украины, Киев)

Определение главных размеров торцевых асинхронных двигателей при проектировании

Рассмотрена отличающаяся от известных методика предварительного определения главных размеров торцевых асинхронных двигателей при их проектировании и оптимизации. Приведено сравнение величин главных размеров торцевых АД, рассчитанных по предлагаемой методике, с размерами изготовленных макетных образцов.

Розглянуто методику попереднього визначення головних розмірів торцевих асинхронних двигунів при їх проектуванні та оптимізації, яка відрізняється від відомих. Приведено порівняння головних розмірів торцевих АД, які розраховані за наведеною методикою, з розмірами виготовлених макетних зразків.

К современным электрическим машинам, в частности, асинхронным двигателям (АД) предъявляются все более жесткие требования по снижению расхода активных материалов и повышению технического уровня. Особое внимание уделяется уменьшению трудоемкости изготовления и повышению уровня автоматизации их производства. В связи с удорожанием энергоносителей и ухудшением экологической обстановки все большее значение приобретают энергосберегающие технологии.

В АД традиционной (цилиндрической) конфигурации при принятой механизированной укладке обмоток достигнут предел увеличения коэффициента заполнения паза круглым проводом [2]. В этом плане определенными резервами обладают АД нетрадиционных конструкций, к которым

относятся торцевые электродвигатели. Во многих случаях торцевые АД с короткозамкнутым ротором могут успешно конкурировать с традиционными асинхронными электродвигателями, так как позволяют спизить габариты и улучшить оформление (дизайн) изделия. Применение однофазных конденсаторных торцевых асинхронных двигателей в бытовой технике привлекает внимание возможностью получения стиральных машин, холодильников и т.п. с уменьшенными габаритными размерами, что иногда играет решающую роль при реализации товара.

В этой связи возникает интерес к возможности более широкого применения таких электродвигателей и, естественно, к вопросам их проектирования с применением простых по изготовлению конструкций и ресурсосберегающих технологий. Мно-

© Давыдов А.Н., Оноприч Л.В., Оноприч В.П., 2007

гообразии требований, предъявляемых к асинхронным двигателям малой мощности торцевого исполнения, часто противоречащих друг другу, усложняет задачу выбора главных размеров статора (внутренний диаметр D_i и расчетная длина l_i) при их проектировании. Обычно связь между главными размерами электрической машины устанавливается через "машинную постоянную". В классической литературе [4, 5] применительно к асинхронным двигателям чаще всего используется "машинная постоянная" Арнольда (C_A), уравнение для которой может быть записано в следующем виде:

$$C_A = D_i^2 l_i \Omega / S_{ЭМ} = 2 (\pi \alpha_\delta k_B k_{об1} A B_\delta)^{-1},$$

где $S_{ЭМ}$ — расчетная (потребляемая из сети) мощность, В·А; Ω — угловая скорость вращения, сек⁻¹; A — линейная нагрузка статора, А/м; B_δ — магнитная индукция в зазоре, Т; α_δ — коэффициент полюсного перекрытия; k_B — коэффициент формы кривой магнитного поля; $k_{об1}$ — обмоточный коэффициент.

Некоторые из указанных величин задаются в исходных данных на проектирование на основании предыдущего опыта расчетов, некоторые предварительно рассчитываются и затем уточняются. Минимальный внутренний диаметр статора (D_i) определяется технологическими и конструктивными требованиями, предъявляемыми к подшипниковому узлу торцевого двигателя. Для рассматриваемого диапазона мощностей (60–180 Вт) D_i должен быть не менее 65 мм. Электромагнитные нагрузки задаются из опыта проектирования торцевых двигателей и двигателей традиционного исполнения [1, 3, 4–6]: магнитная индукция в зазоре $B_\delta < 0,6$ Т, линейная нагрузка $A = 18000–20000$ А/м.

Следует отметить, что в современной литературе, например, [1], приведен широкий спектр конструктивных исполнений торцевых двигателей различных типов, а также даны рекомендации по их проектированию. Ниже приводится отличающаяся от [1] методика предварительного определения главных размеров торцевых асинхронных двигателей при их проектировании и оптимизации.

"Машинная постоянная" определяет степень использования активного объема АД, поэтому при анализе конструктивных схем торцевых двигателей целесообразно представление объемов элементов активной части торцевой машины через объемы аналогичных элементов цилиндрической машины.

Используя общеизвестные при проектировании понятия главных размеров в электрических машинах [4, 5], для торцевых приняты: D_{cp} — средний диаметр магнитопровода статора торцевого двигателя; l_i — радиальная расчетная длина магнитопровода этого же статора. Для определения

этих величин вначале следует рассчитать электромагнитную (расчетную) мощность проектируемого электродвигателя

$$S_{ЭМ} = K_E P_{2H} (\eta_H \cos \varphi_H)^{-1}, \quad (1)$$

где P_{2H} , η_H , $\cos \varphi_H$ — соответственно, номинальные значения полезной мощности на валу, КПД и коэффициент мощности, величины которых задаются в техзадании; K_E — коэффициент, равный отношению ЭДС обмотки к величине номинального напряжения, E_1 / U_{1H} .

Расчетная электромагнитная мощность m -фазной ЭМ равна

$$S_{ЭМ} = m E_1 I_1. \quad (2)$$

Подстановкой в (2) известных выражений для ЭДС

$$E_1 = \pi \sqrt{2} f_1 W_1 K_{об1} B_\delta \alpha_\delta \tau l_1 \quad (3)$$

и тока в номинальном режиме

$$I_1 = A \pi D_{cp} (2mW_1)^{-1} \quad (4)$$

получаем выражение для условного объема активной части [4]

$$D_{cp}^2 l_i = \sqrt{2} S_{ЭМ} (\pi^2 K_{об1}^2 A B_\delta n_1)^{-1} = V \quad (5)$$

где A и B_δ — соответственно, линейная нагрузка и магнитная индукция в воздушном зазоре; $K_{об1}$ — обмоточный коэффициент; $n_1 = f_1 / p$ — синхронная частота вращения. При выводе выражения (5) принято $\alpha_\delta = 2/\pi$, т.е. для синусоидального распределения поля в воздушном зазоре.

Для торцевых электродвигателей справедливы соотношения

$$D_{cp} = (D_H + D_i) / 2, \quad (6)$$

$$l_i = (D_H - D_i) / 2. \quad (7)$$

В эти выражения входят D_H — наружный и D_i — внутренний диаметры магнитопровода статора.

Замена D_{cp} и l_i в формуле (5) выражениями (6) и (7) позволяет получить уравнение 3-й степени относительно D_H

$$D_H^3 + D_i \cdot D_H^2 - D_i^2 \cdot D_H - D_i^3 = V, \quad (8)$$

что соответствует кубическому уравнению вида

$$x^3 + bx^2 + b^2x - b^3 - V = 0, \quad (9)$$

где $x = D_{II}$, $b = D_i$.

Внутренний диаметр магнитопровода торцевых АД обычно задается техническим заданием на проектирование или определяется конструктивно-технологическими факторами (требования к размещению вала, подшипникового узла и лобовых частей обмотки статора). Таким образом, считая D_i известной величиной, необходимо вычислить D_{II} .

Каноническая форма полученного кубического уравнения

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0. \quad (10)$$

Используя рекомендации по решению полных кубических уравнений, введем новую переменную в уравнение (8) $y = D_{II} + D_i/3$ и получим новое уравнение вида

$$y^3 + 3py + 2q = 0, \quad (11)$$

где $p = 4 \cdot D_i^3 / 9$, $q = - (16D_i^3 / 27 + V) / 2$.

Дискриминант уравнения (11)

$$D = q^2 + p^3 = 32 \cdot D_i^3 \cdot V / 27 + V^2 > 0,$$

следовательно, уравнение (11) имеет один действительный корень, удовлетворяющий условию существования (по формуле Кардана)

$$y_1 = u + v, \quad (12)$$

где

$$u = \left[-q + \left(q^2 + p^3 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}, \quad v = \left[-q - \left(q^2 + p^3 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}.$$

Рассчитанная величина u_1 позволяет определить $D_{II} = y - D_i/3$ и выражения (6) и (7), которые принимаются для дальнейшего оптимального проектирования в качестве исходных главных размеров D_{cp} и l_i торцевых АД.

В таблице приведено сравнение главных размеров торцевых АД в указанном диапазоне мощно-

стей, рассчитанных по предлагаемой методике, с размерами изготовленных макетных образцов.

$P_2, \text{Вт}$	60		90		120		180	
	расч.	макет	расч.	макет	расч.	макет	расч.	макет
$D_{cp}, \text{мм}$	83	84,5	88	90,5	91	88	95	88,5
$l_i, \text{мм}$	17	15	23	17,5	26	20,5	30	23

Расхождения в величинах на 2–7% (для среднего диаметра) и 11–22% (для расчетной длины) объясняется тем, что в процессе оптимального проектирования происходит уточнение главных размеров двигателей, их внутренней геометрии, обмоточных данных, а также рассчитываются рабочие и механические характеристики, которые полностью удовлетворяют требованиям технического задания на проектирование.

Таким образом, предлагается отличающаяся от известных методика предварительного определения главных размеров торцевых асинхронных двигателей при их проектировании и оптимизации. Указанная погрешность допустима, так как при поиске оптимального варианта двигателя переменные параметры управления варьируются в диапазоне $\pm 25\text{--}50\%$.

1. Игнатов В.А., Вильданов К.Я. Торцевые асинхронные электродвигатели интегрального изготовления. — М.: Энергоатомиздат. 1988. — 304 с.

2. Казанский В.М., Пашков Н.И. Перспективы развития малых электрических машин с ферромагнитными обмоточными структурами // Электротехника. — 1995. — № 4. — С. 6–8.

3. Кисленко В.И., Оноприч В.П., Салан А.В. и др. Проектирование четырехполюсных асинхронных двигателей малой мощности торцевого исполнения // Техн. электродинамика. — 1993. — № 5. — С. 32–37.

4. Постников И.М. Проектирование электрических машин. — Киев: Гостехиздат УССР, 1960. — 912 с.

5. Проектирование электрических машин / Под ред. И.П.Копылова. — М.: Энергия. 1980. — 496 с.

6. Яковлев А.И. Электрические машины с уменьшенной материалоемкостью. — М.: Энергоатомиздат. 1989. — 240 с.

Надійшла 06.10.2006