

УДК 621.313.

Г. Д. Баранов, М. А. Ваганов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Асинхронный торцевой двигатель

Рассматривается новая математическая модель асинхронного торцевого двигателя, позволяющая в общем виде решить задачу по определению его основных размеров и одновременно выполнить анализ на оптимальность продольной и поперечной геометрии данного двигателя с целью выявления значений магнитной индукции в воздушном зазоре и длины пакетов стали статора и ротора, обеспечивающих наилучшее использование активных материалов относительно электромагнитного момента данного двигателя.

Электромагнитный момент, высота и ширина пазов статора и ротора, оптимальная длина пакета стали, магнитная индукция в воздушном зазоре, наружный диаметр пакета стали

В последнее десятилетие наряду с асинхронными двигателями традиционной цилиндрической конструкции стало усиливаться внимание к асинхронным торцевым двигателям, которые внешне также цилиндрические, но активные стороны обмоток статора и ротора расположены в них в радиальном направлении, а не в аксиальном, как в обычных асинхронных машинах [1]–[3].

Подобная конструктивная схема, как оказывается, имеет ряд несомненных преимуществ. Прежде всего, магнитная система в таких двигателях выполняется из ленты с последующей фрезеровкой по одному из торцов пакета радиальных пазов, что существенно снижает отходы стали. Кроме того, уменьшается длина лобовых частей обмотки статора, а следовательно, сокращается расход меди. Сверх этого торцевая конструкция двигателя позволяет упростить компоновку двигателя и механизма. Таким образом, асинхронные торцевые двигатели имеют несколько больший КПД, лучшее использование активных материалов и оказываются более компактными [1], [4].

Своеобразное конструктивное оформление торцевых асинхронных двигателей (рис. 1) практически полностью исключает возможность использования при их расчете традиционных методов проектирования цилиндрических асинхронных двигателей и возникает необходимость в разработке новой математической модели проектирования торцевых двигателей, обеспечивающей их оптимальность на стадии проектирования, прежде всего по степени использования активных материалов относительно электромагнитного момента [5].

При составлении математической модели асинхронного торцевого двигателя может быть использован тот же принцип, что и для обычных цилиндрических асинхронных двигателей [5].

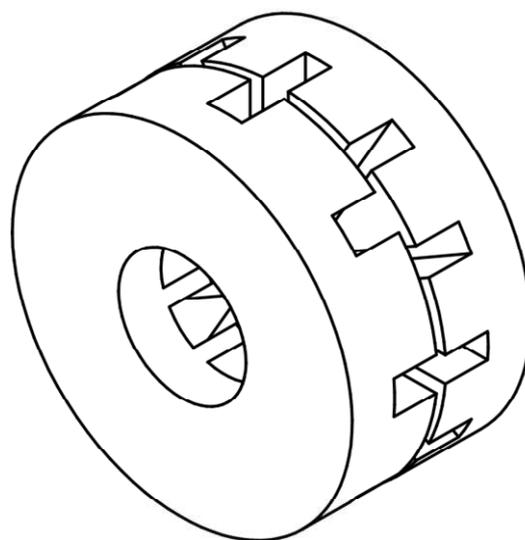


Рис. 1

Зафиксируем общую аксиальную длину двигателя L_1 и наружные диаметры пакетов стали статора $D_{1н}$ и ротора $D_{2н}$ (в простейшем случае эти диаметры можно считать одинаковыми).

Полная аксиальная длина машины L (рис. 2) складывается из аксиальной длины статора l_1 (это высота пазов статора $h_{п1}$ и толщина сердечника статора $h_{с1}$), аксиальной длины ротора l_2 (это высота пазов ротора $h_{п2}$ и толщина сердечника

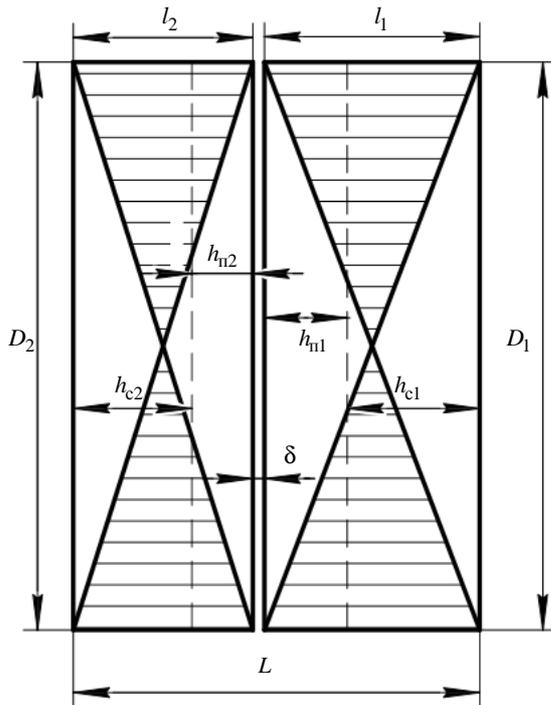


Рис. 2

ротора h_{c2}) и воздушного зазора δ между ними, который принимается постоянным. При этих условиях изменение аксиальной длины статора будет сопровождаться изменением аксиальной длины ротора, но в противоположном направлении. Так, например, при уменьшении длины статора за счет уменьшения высоты его паза, а следовательно, за счет ослабления обмотки статора, будет уменьшаться электромагнитный момент двигателя. И наоборот, при уменьшении аксиальной длины ротора за счет уменьшения высоты пазов ротора (ослабление обмотки ротора) будет снова снижаться электромагнитный момент двигателя. Можно предположить, что должна существовать такая оптимальная длина статора или ротора (в пределах их фиксированной суммарной длины) при которой электромагнитный момент торцевого асинхронного двигателя будет иметь максимально возможное значение в данном фиксированном объеме его активного ядра (рассматриваемый максимальный электромагнитный момент не следует отождествлять с параметрическим максимумом электромагнитного момента асинхронной машины на ее механической характеристике).

Должно быть очевидным, что основной процесс преобразования энергии в асинхронной машине не зависит от ее конструктивного оформления. И, в частности, электромагнитный момент, создаваемый асинхронным торцевым двигателем, будет определяться известным выражением

$$M_{эм} = \frac{m_1 U_c^2}{\omega_1} \frac{r_2' / s_H}{(r_1 + c_1 r_2' / s_H)^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2}, \quad (1)$$

где m_1 – число фаз обмотки статора; U_c – фазное напряжение на зажимах обмотки статора; ω_1 – синхронная угловая скорость вращения первой гармоники МДС обмотки статора; r_1, r_2' – активные сопротивления обмотки статора и приведенной короткозамкнутой обмотки ротора; s_H – номинальное скольжение ротора; c_1 – коэффициент, учитывающий падение напряжения на сопротивлении обмотки статора; x_1, x_2' – индуктивные сопротивления рассеяния обмотки статора и приведенной обмотки ротора.

Фазное напряжение U_c выразим через c_1 и ЭДС самоиндукции обмотки статора при холостом ходе E_{10} : $U_c = c_1 E_{10}$. В свою очередь, $E_{10} = \pi \sqrt{2} f_1 W_1 k_{об1} \Phi_m$, где f_1 – частота напряжения сети; W_1 – число последовательно соединенных витков фазы обмотки статора; $k_{об1}$ – обмоточный коэффициент обмотки статора. Если радиальную высоту кольца статора принять равной $(D_{1H} - D_1) / 2$ и среднее полюсное деление статора $\tau_{1cp} = \pi (D_{1H} + D_1) / (2p)$, то амплитуда вращающегося магнитного потока взаимной индукции в воздушном зазоре двигателя $\Phi_m = B_\delta (D_{1H}^2 - D_1^2) / (2p)$, где B_δ – амплитуда магнитной индукции в воздушном зазоре; p – число пар полюсов двигателя.

Активное сопротивление фазы обмотки статора $r_1 = 2W_1 l_{1cp} k_{\partial 1} / (\gamma_1 q_{a1})$, где l_{1cp} – средняя длина полувитка обмотки статора; $k_{\partial 1}$ – температурный коэффициент сопротивления материала обмотки статора; γ_1 – удельная электрическая проводимость материала обмотки статора; q_{a1} – площадь поперечного сечения проводника обмотки статора.

При формировании выражения для средней длины l_{1cp} полувитка обмотки статора необходимо учитывать, что катушка обмотки статора имеет две разные по длине лобовые части – $l'_{л1}$ по наружному диаметру статора D_{1H} и $l''_{л1}$ по

внутреннему диаметру статора D_1 (рис. 3). При этом условии получим, что

$$l_{1cp} = \frac{k_{л1}}{2}(D_{1н} - D_1) + \frac{\pi}{4p}(D_{1н} + D_1)k_{\beta 1},$$

где $k_{л1}$ – коэффициент вылета лобовых частей обмотки статора (предполагается, что вылеты верхней и нижней лобовых частей катушки одинаковы); $k_{\beta 1}$ – коэффициент укорочения шага обмотки статора. В данном выражении первое слагаемое характеризует прямолинейный участок полувитка, расположенный непосредственно в пазу пакета стали статора, а второе определяет две половинки верхней и нижней лобовых частей.

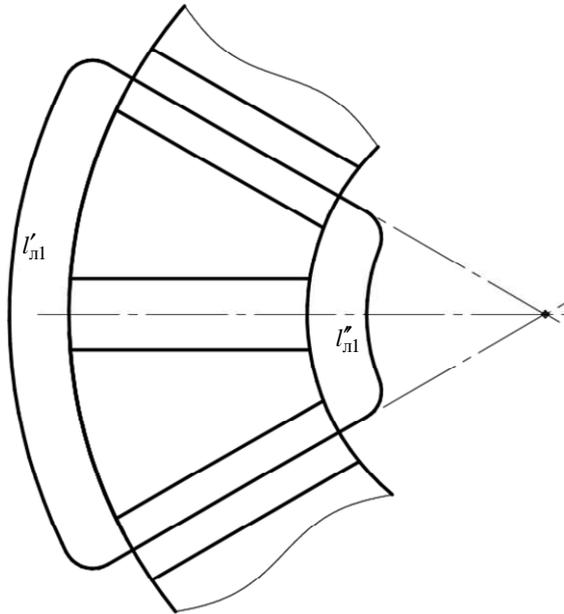


Рис. 3

Введем обозначение $(D_{1н} + D_1)/(D_{1н} - D_1) = k_{D1}$, и тогда выражение для величины l_{1cp} можно записать в следующем виде: $l_{1cp} = k_{1*} \times (D_{1н} - D_1)/2$, $k_{1*} = k_{л1} + \pi k_{\beta 1} k_{D1} / (2p)$, где коэффициент k_{1*} учитывает длину лобовых частей катушки обмотки статора.

С учетом полученного выражения для l_{1cp} перепишем выражение для активного сопротивления обмотки статора:

$$r_1 = W_1 (D_{1н} - D_1) k_{1*} k_{\vartheta 1} / (\gamma_1 q_{a1}). \quad (2)$$

Приведенное активное сопротивление обмотки короткозамкнутого ротора обычного цилиндрического асинхронного двигателя определяется выражением

$$r'_2 = \frac{4m_1 (k_{об1} W_1)^2}{Z_2} \left(r_{ст} + \frac{r_k}{2 \sin^2(\pi p / Z_2)} \right),$$

$$r_{ст} = \frac{k_{\vartheta 2} l_{ст}}{\gamma_2 q_{ст}}, \quad r_k = \frac{\pi D_k k_{\vartheta 2}}{Z_2 \gamma_2 q_k}.$$

В этих выражениях приняты следующие обозначения: Z_2 – число зубцов ротора; $r_{ст}$ – сопротивление стержня; r_k – сопротивление короткозамыкающих колец; $k_{\vartheta 2}$ – температурный коэффициент сопротивления материалов обмотки ротора; γ_2 – удельная электрическая проводимость материала обмотки ротора; $q_{ст}$, q_k – площади поперечных сечений стержня и короткозамыкающих колец соответственно.

Применительно к асинхронному торцевому двигателю обозначим через $D_{2н}$ наружный диаметр пакета стали ротора и D_2 его внутренний диаметр. Тогда длина стержня короткозамкнутой обмотки ротора $l_{ст} = (D_{2н} - D_2)/2$. В короткозамкнутой обмотке ротора торцевого асинхронного двигателя также должно быть два короткозамыкающих кольца: внешнее или наружное с диаметром D'_k по наружному диаметру ротора и внутреннее с диаметром D''_k по внутреннему. Без особой погрешности диаметры колец можно приравнять наружному $D_{2н}$ и внутреннему D_2 диаметрам пакета стали ротора соответственно, и тогда в предположении равенства поперечных сечений наружного и внутреннего короткозамыкающих колец выражения для $r_{ст}$ и r_k примут следующий вид:

$$r_k = \frac{\pi k_{\vartheta 2}}{Z_2 \gamma_2 q_k} (D_{2н} + D_2).$$

Подставив выражения для $r_{ст}$ и r_k в выражение для r'_2 , после преобразований получим

$$r'_2 = \frac{4m_1 (k_{об1} W_1)^2}{Z_2} \frac{k_{\vartheta 2}}{\gamma_2 q_{ст}} \times \left((D_{2н} - D_1)/2 + \frac{\pi (D_{2н} + D_2)}{Z_2} \frac{q_{ст}}{q_k} / \left(2 \sin^2 \frac{\pi p}{Z_2} \right) \right). \quad (3)$$

Площади поперечного сечения стержня $q_{ст}$ и короткозамыкающего кольца q_k можно представить через отношения токов в них $I_{ст}$ и I_k к со-

ответствующим плотностям токов $j_{ст}$ и j_k :
 $q_{ст} = I_{ст} / j_{ст}$ и $q_k = I_k / j_k$.

Уменьшение плотности тока в короткозамыкающих кольцах ротора по отношению к плотности тока в стержнях (для улучшения условий охлаждения стержней) можно учесть при помощи коэффициента $k_j = j_k / j_{ст}$. Составим отношение $q_{ст}$ и q_k с учетом того, что $I_{ст} / I_k = 2 \sin(\pi p / Z_2)$:

$$\frac{q_{ст}}{q_k} = \frac{I_{ст}}{I_k} \frac{j_k}{j_{ст}} = 2k_j \sin(\pi p / Z_2).$$

Данное выражение подставим в (3) и получим

$$r'_2 = \frac{2m_1 (k_{об1} W_1)^2 k_{\vartheta 2}}{\gamma_2 Z_2 q_{ст}} \times \left((D_{2н} - D_2) + \frac{k_j \pi (D_{2н} + D_2)}{Z_2 \sin(\pi p / Z_2)} \right).$$

Аналогично статору введем обозначение $(D_{2н} + D_2) / (D_{2н} - D_2) = k_{D2}$, и тогда выражение для r'_2 примет вид

$$r'_2 = \frac{2m_1 (k_{об1} W_1)^2 k_{\vartheta 2} k_{2*}}{\gamma_2 Z_2 q_{ст}} (D_{2н} - D_2), \quad (4)$$

где $k_{2*} = 1 + \frac{\pi k_j k_{D1}}{Z_2 \sin(\pi p / Z_2)}$ – коэффициент, учитывающий короткозамыкающие кольца обмотки ротора.

Введем в рассмотрение полное число проводников обмотки статора $2W_1 m_1$. Обозначив через $k_{г1}$ коэффициент заполнения паза статора изолированным проводом, составим выражение для суммарной площади всех пазов статора, необходимой для размещения в них проводников обмотки статора,

$$Q_{п1} = 2W_1 m_1 q_{a1} / k_{г1} = Q'_{п1} Z_1, \quad (5)$$

где $Q'_{п1}$ – площадь одного паза статора; Z_1 – число пазов статора.

При короткозамкнутой обмотке ротора в каждом пазу размещается только один стержень с площадью поперечного сечения $q_{ст}$, и тогда суммарная площадь всех пазов ротора, необходимая для размещения в них Z_2 стержней с коэффициентом заполнения $k_{г2}$, будет определяться выражением

$$Q_{п2} = q_{ст} Z_2 / k_{г2} = Q'_{п2} Z_2, \quad (6)$$

где $Q'_{п2}$ – площадь одного паза ротора.

Выражения для активных сопротивлений r_1 и r'_2 (2) и (3) преобразуем с учетом (5) и (6) соответственно и в результате получим

$$r_1 = 2W_1^2 m_1 (D_{1н} - D_1) k_{1*} k_{\vartheta 1} / (k_{г1} \gamma_1 Q_{п1}),$$

$$r'_2 = 2m_1 (k_{об1} W_1)^2 \times k_{\vartheta 2} k_{2*} (D_{2н} - D_2) / (k_{г2} \gamma_2 Q_{п2}). \quad (7)$$

Исходное выражение для электромагнитного момента двигателя домножим и разделим на $\sqrt{r_1 r'_2}$ и, приняв дополнительно равенства $D_{2н} = D_{1н}$ и $D_2 = D_1$, после необходимых преобразований с учетом (7) и [1] получим

$$M_{эм} = k_F F_M F s_H, \quad (8)$$

$$k_F = \frac{\pi f_1 k_{об1} \sqrt{\gamma_1 \gamma_2} k_{г1} k_{г2}}{4 \sqrt{k_{\vartheta 1} k_{\vartheta 2}}} c_1^2, \quad (9)$$

$$F_M = \frac{(D_{1н} + D_1) (D_{1н}^2 - D_1^2) B_{\delta}^2 \sqrt{Q_{п1} Q_{п2}}}{\sqrt{k_{1*} k_{2*}}} \frac{1}{p}, \quad (10)$$

$$F = \frac{\sqrt{r_1 r'_2}}{2c_1^2 k_m (k_m - \sqrt{k_m^2 - 1})}. \quad (11)$$

Из полученных выражений следует, что исходные выражения для электромагнитного момента асинхронного цилиндрического двигателя (1) и (8) применительно к асинхронному торцевому двигателю могут преобразованы к виду (9)–(11). При этом (9) обобщенный коэффициент, в состав которого входит целый ряд величин, постоянных или практически постоянных, т. е. их числовые значения известны или задаются в соответствии с заданием на проектирование двигателя. Выражение (10) можно назвать функциональным множителем, описывающим продольно-поперечную геометрию асинхронного торцевого двигателя. Это выражение в дальнейшем будет преобразовано с учетом конкретной формы пазов статора и ротора рассматриваемого двигателя. И, наконец, выражение (11), условно называемое параметрическим множителем и зависящее от перегрузочной способности двигателя или его кратности максимального момента k_m , позволяет при определении основных размеров двигателя учесть значение k_m .

Составим выражения для площадей пазов статора и ротора, имея в виду основные геометрические размеры двигателя и числа пазов статора и ротора соответственно, а также его число пар полюсов.

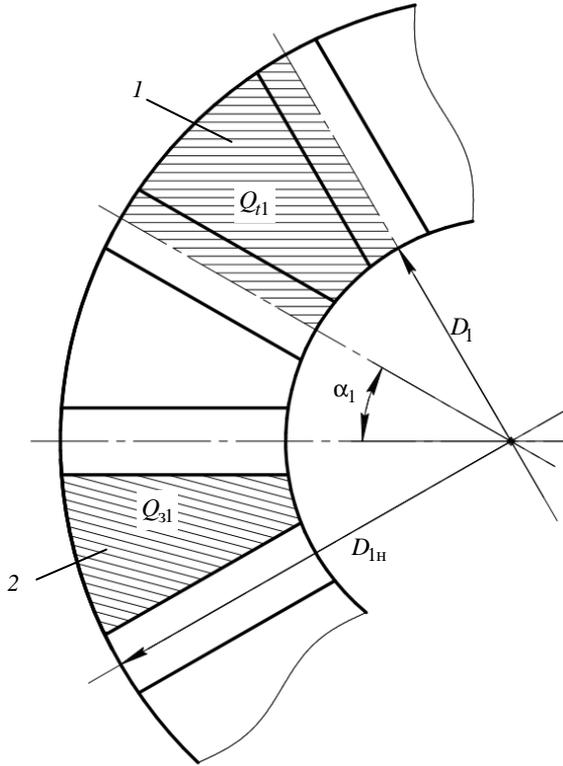


Рис. 4

Для этого следует предварительно определить площадь Q_{11} , соответствующую зубцовому делению статора (заштрихованная площадка 1 на рис. 4). Эта площадь представляет собой разность площадей секторов, соответствующих зубцовому делению статора $2\alpha_1 = 2\pi/Z_1$, и ограниченных наружным D_{1H} и внутренним D_1 диаметрами пакета стали статора:

$$Q_{11} = \frac{\pi D_{1H}^2}{4} \frac{2\alpha_1}{2\pi} - \frac{\pi D_1^2}{4} \frac{2\alpha_1}{2\pi} = \frac{1}{4} \alpha_1 (D_{1H}^2 - D_1^2) = \frac{\pi}{4Z_1} (D_{1H}^2 - D_1^2). \quad (12)$$

Определим площадь зубца Q_{31} (заштрихованная площадка 2 на рис. 4). При определении площади Q_{31} предположим, что магнитная индукция B_δ в воздушном зазоре в пределах всего зубцового деления постоянна, и точно так же предполагается постоянной магнитная индукция B_{32} по всему сечению зубца Q_{31} . При этом условии магнитный поток Φ_{t1} , соответствующий зубцовому делению Q_{t1} , можно записать в виде $\Phi_{t1} = Q_{t1} B_\delta$. Далее дополнительно предположим, что магнитная система двигателя в зубцовой зоне не насыщена, и тогда весь магнитный поток Φ_{t1}

в зубцовой зоне будет проходить только через зубец, а магнитный поток в прилегающих к зубцу пазах будет отсутствовать. Вводя в рассмотрение коэффициент k_{c2} заполнения пакета сталью, запишем: $\Phi_{t1} = Q_{t1} B_\delta = Q_{31} B_{31} k_{c1}$. Отсюда получим соотношение для площадей Q_{t1} и Q_{31} :

$$Q_{31} = Q_{t1} \frac{B_\delta}{B_{31} k_{c1}},$$

и при учете (12)

$$Q_{31} = \frac{\pi}{4Z_1} (D_{1H}^2 - D_1^2) \frac{B_\delta}{B_{31} k_{c1}}. \quad (13)$$

Площадь паза статора в плоскости, перпендикулярной оси вращения, в соответствии с рис. 4 определяется как разность площадей Q_{t1} и Q_{31} :

$$Q_{31} \tilde{Q}_{п1} = Q_{t1} - Q_{31} = \frac{\pi}{4Z_1} (D_{1H}^2 - D_1^2) \left(1 - \frac{B_\delta}{B_{31} k_{c1}}\right). \quad (14)$$

При определении ширины паза $b_{п1}$ (рис. 5) воспользуемся допущением, что дуги окружностей, ограничивающие паз по наружной и внутренней поверхностям пакета стали статора, равны соответствующим хордам. Тогда при учете (14) получим

$$Q_{31} b_{п1} = \frac{\tilde{Q}_{п1}}{(D_{1H} - D_1)/2} = \frac{\pi}{2Z_1} (D_{1H} + D_1) \left(1 - \frac{B_\delta}{B_{31} k_{c1}}\right). \quad (15)$$

Для определения глубины паза необходимо предварительно найти выражение для толщины сердечника статора h_{c1} (рис. 5). Для этого воспользуемся следующим выражением для амплитуды полезного магнитного потока Φ_m в воздушном зазоре двигателя, имея в виду, что в асинхронном торцевом двигателе, как и в обычном цилиндрическом, через сердечник статора проходит половина полезного магнитного потока Φ_m . Тогда, обозначив через B_{c1} магнитную индукцию в сердечнике статора, получим

$$\Phi_m = B_\delta (D_{1H}^2 - D_1^2) / (2p) = B_{c1} (D_{H1} - D_1) h_{c1} k_{c1},$$

и отсюда толщина сердечника статора

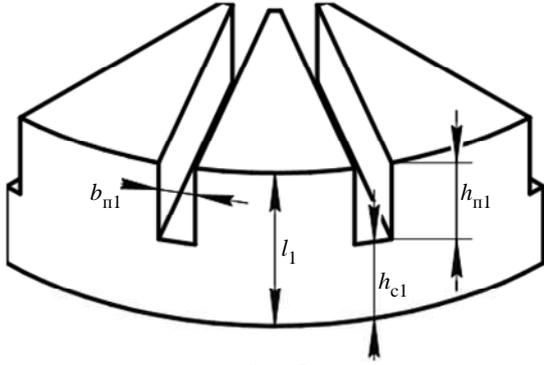


Рис. 5

$$h_{cl} = \frac{(D_{1H} + D_1)}{2p} \frac{B_\delta}{B_{c1}k_{c1}}.$$

Глубина паза определяется разностью аксиальной длины пакета стали статора l_1 и толщины сердечника статора h_{c1} :

$$h_{nl} = l_1 - h_{c1} = l_1 - \frac{(D_{1H} + D_1)}{2p} \frac{B_\delta}{B_{c1}k_{c1}}.$$

Для получения общего решения данной задачи безотносительно к конкретным размерам двигателя введем систему относительных размеров, приняв в качестве базовой аксиальную длину двигателя L . При этом условии можно написать, например, $D_{1H*} = D_{1H}/L$, $D_{1*} = D_1/L$, $l_{1*} = l_1/L$, и записанные в такой форме величины будут называться: относительный наружный диаметр пакета стали статора, относительный внутренний диаметр пакета стали статора, относительная длина пакета стали статора соответственно, и тогда

$$b_{nl} = L \left[\frac{\pi}{2Z_1} (D_{1H*} + D_{1*}) \left(1 - \frac{B_\delta}{B_{31}k_{c1}} \right) \right],$$

$$h_{nl} = L \left[l_{1*} - \frac{(D_{1H*} + D_{1*})}{4p} \frac{B_\delta}{B_{c1}k_{c1}} \right].$$

Общая площадь всех пазов статора $Q_{п1}$ будет определяться выражениями

$$Q_{п1} = Z_1 b_{nl} h_{nl} = L^2 k_{п1}, \quad (16)$$

$$k_{п1} = \frac{\pi}{2} (D_{1H*} + D_{1*}) \left(1 - \frac{B_\delta}{B_{31}k_{c1}} \right) \times \left[l_{1*} - \frac{(D_{1H*} + D_{1*})}{4p} \frac{B_\delta}{B_{c1}k_{c1}} \right]. \quad (17)$$

Принимая пазы ротора также прямоугольными, можем записать выражение для их общей площади аналогично (16).

Для удобства дальнейшего анализа примем одинаковыми наружные и внутренние диаметры пакетов стали статора и ротора $D_{2H} = D_{1H}$, $D_2 = D_1$, а длину пакета стали ротора выразим через общую аксиальную длину L , длину воздушного зазора δ и аксиальную длину статора l_1 : $l_2 = L - l_1 - \delta$. Тогда выражение для площади пазов ротора, записанное, как и для статора, в относительных единицах, будет иметь вид

$$Q_{п2} = L^2 k_{п2}, \quad (18)$$

$$k_{п2} = \frac{\pi}{2} (D_{1H*} + D_{1*}) \left(1 - \frac{B_\delta}{B_{32}k_{c2}} \right) \times \left[1 - l_{1*} - \delta_* - \frac{(D_{1H*} + D_{1*})}{4p} \frac{B_\delta}{B_{c2}k_{c2}} \right]. \quad (19)$$

Учитывая (16) и (18), запишем выражение (10) для функционального сомножителя F_M в виде

$$F_M = \frac{(D_{1H} + D_1)(D_{1H}^2 - D_1^2)L^2 B_\delta^2 \sqrt{k_{п1}k_{п2}}}{\sqrt{k_{1*}k_{2*}}} \frac{1}{p},$$

или в относительных единицах, которые получаются делением числителя и знаменателя данного выражения на L^3 ,

$$F_M = \frac{(D_{1H*} + D_{1*})(D_{1H*}^2 - D_{1*}^2)L^5 B_\delta^2 \sqrt{k_{п1}k_{п2}}}{\sqrt{k_{1*}k_{2*}}} \frac{1}{p}. \quad (20)$$

Введение относительных единиц обеспечивает возможность получения общего решения задачи оптимизации продольно-поперечной геометрии торцевого двигателя безотносительно к его мощности и конкретным геометрическим размерам.

При учете (20) выражение для электромагнитного момента (8) примет вид

$$M_{эм} = k_F F_{M*} F L^5 s_H, \quad (21)$$

$$F_{M*} = \frac{(D_{1H*} + D_{1*})(D_{1H*}^2 - D_{1*}^2) B_\delta^2 \sqrt{k_{п1}k_{п2}}}{\sqrt{k_{1*}k_{2*}}} \frac{1}{p}. \quad (22)$$

Анализ выражения (22) показывает, что функция F_{M*} имеет общий максимум по трем переменным одновременно: относительно магнитной индукции в воздушном зазоре B_δ , по относительной длине пакета стали статора l_{1*} и по относительному значению внутреннего диаметра пакета стали статора D_{1*} .

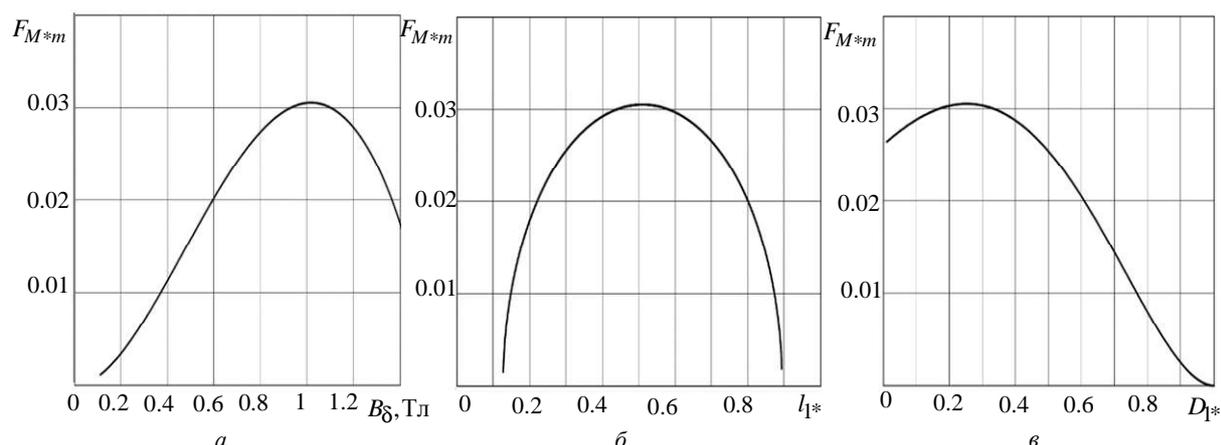


Рис. 6

Обозначим соответствующие оптимальные значения перечисленных переменных через $B_{\delta m}$, l_{1*m} и D_{1*m} , а значение функции F_{M*} , при котором она имеет максимум, – через F_{M*m} .

На рис. 6 представлены графические зависимости $F_{M*} = f(B_{\delta})$, $F_{M*} = f(l_{1*})$, $F_{M*} = f(D_{1*})$ при фиксированных значениях остальных переменных и равных их оптимальных значениях. В качестве примера графики построены для четырехполюсного асинхронного торцевого двигателя. Оптимальное значение магнитной индукции в воздушном зазоре $B_{\delta m} = 1.0$ Тл, оптимальное значение относительной длины пакета стали статора $l_{1*m} = 0.5$ и оптимальное значение внутреннего диаметра расточки статора $D_{1*m} = 0.25$.

При указанных значениях перечисленных величин двигатель будет иметь наилучшее использование активных материалов относительно электромагнитного момента на его валу.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Несмотря на принципиально различные конструктивные схемы асинхронных цилиндрического и торцевого двигателей, их расчетные модели оказались подобными, что обусловлено общностью принципа действия этих двигателей.

2. В отличие от цилиндрического двигателя функциональный множитель торцевого двигателя имеет максимум по трем переменным, что существенно упрощает расчет торцевых двигателей, так как их оптимальность обеспечивается одновременно в продольном и поперечном направлениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашков Н. И., Исследование и разработка новых конструкций и технологии изготовления торцевых асинхронных электродвигателей малой мощности применительно к массовому производству: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: Моск. энергет. ин-т (Техн. ун-т), 2007. 20 с.
 2. Бут Д. А. Бесконтактные электрические машины. М.: Высш. шк., 1990. 235 с.
 3. Бертинов А. И., Бут Д. А. Специальные электрические машины. Источники и преобразователи

энергии: в 2 кн. / под ред. Б. Л. Алиевского. М.: Энергоатомиздат, 1993. 517 с.
 4. Полошков Н. Е. Двухроторный торцевой асинхронный двигатель: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2010. 39 с.
 5. Ваганов М. А., Пименова И. А. Основы расчета электрических машин переменного тока. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. 156 с.

G. D. Baranov, M. A. Vaganov
 Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

ASYNCHRONOUS SOCKET ENGINE

We consider a new mathematical model of asynchronous motor end of the screen-sort of in a General way to solve the problem by determining its basic dimensions and at the same time a vpol-thread analysis on the optimality of the longitudinal and transverse geometry of this engine with the purpose of specifying the values of the magnetic induction in the air gap and the length of the packet of the pack of the stator and rotor RA to ensure the best use of active material for the electro-magnetic torque of the engine. Electromagnetic torque, the height and width of the grooves of the stator and rotor, the optimal packet length steel, magnetic induction in the air gap, the outer diameter of the steel package.

Electromagnetic torque, height and width of the grooves of the stator and rotor, the optimum packet length of steel, the magnetic induction in the air gap, the outer diameter of the steel package