

б. Изменение магнитных индукций на участках магнитной системы обуславливает изменение оптимальной продольной геометрии. В частно-

сти, уменьшается оптимальная относительная длина пакета стали статора при увеличении индукций на участках магнитной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Г. Д., Ваганов М. А. Торцевой асинхронный двигатель // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2016. № 6. С. 68–74.

2. Ваганов М. А., Пименова И. А. Основы расчета электрических машин переменного тока. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. 156 с.

M. A. Vaganov, G. D. Baranov

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

AXIAL FLUX INDUCTION ASYNCHRONOUS ENGINE WITH THE MODIFIED GEOMETRY OF A TOOTH ZONE OF THE STATOR

The modified tooth zone of the stator gives the chance to simplify the choice of magnetic induction on sites of magnetic system on condition of limited values of density of current in stator winding conductors. At the same time in addition it turns out that are optimized not only induction on sites of magnetic system but also it is longitudinal cross geometry of the engine.

The electromagnetic moment, optimum length of a package became, magnetic induction in an air gap, the outer diameter of a package of steel, the modified geometry, magnetic induction in stator teeth, a maximum of a magnetic flux

УДК 621.313

Д. Ш. Абдуллин, И. А. Бутылин, М. А. Ваганов

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

Влияние активного сопротивления обмотки статора на угловые характеристики синхронного явнополюсного двигателя

Рассматривается влияние активного сопротивления обмотки статора на свойства синхронного явнополюсного двигателя в зависимости от его мощности. Для удобства анализа вводятся в рассмотрение относительные значения синхронных индуктивных сопротивлений обмотки статора по продольной и поперечной осям, безразмерные функции, характеризующие потребляемую и электромагнитную мощность, а также электромагнитный момент синхронного двигателя.

Синхронный явнополюсный двигатель, активное сопротивление обмотки статора, составляющие функции электромагнитного момента, коэффициент возбуждения, электрические потери в обмотке статора, критический угол нагрузки

В синхронных машинах вообще и в синхронных явнополюсных машинах в частности в установившихся режимах работы при анализе и оценке их свойств активное сопротивление обмотки статора r_1 не учитывается, так как его числовое значение не превосходит одной десятой синхронного индуктивного сопротивления по продольной оси, вследствие чего падение напряжения, ему

соответствующее, пренебрежимо мало в сравнении с падениями напряжения на индуктивных сопротивлениях обмотки статора, а также в энергетическом плане его роль оказывается незначительной. По этим причинам в классической теории синхронных машин вывод выражений для электромагнитной мощности и угловых характеристик выполняется без учета активного сопро-

тивления обмотки статора. Но все это оказывается справедливым лишь по отношению к синхронным машинам с достаточно большой мощностью – от нескольких киловатт и выше.

Как показывают исследования и соответствующие им расчеты, при меньших мощностях отсутствие учета активного сопротивления обмотки статора приводит к значительной погрешности, уровень которой возрастает при снижении мощности синхронной неявнополюсной машины [1], [2]. Аналогичные особенности должны иметь место и в синхронных явнополюсных машинах, в частности, в синхронных явнополюсных двигателях.

Предварительно составим модель, описывающую процессы в синхронном явнополюсном двигателе в установившемся режиме его работы.

Обмотка статора синхронного явнополюсного двигателя включена в трехфазную сеть с фазным напряжением U_c . При вращающемся с синхронной скоростью роторе поток обмотки возбуждения индуцирует в фазах обмотки статора ЭДС вращения с действующим значением E_1 . Обозначив через I_1 фазный ток обмотки статора и через I_d, I_q продольную и поперечную составляющие этого тока относительно осей d и q соответственно, запишем на основании второго закона Кирхгофа выражение напряжения фазы обмотки статора синхронного явнополюсного двигателя $\dot{U}_c + \dot{E}_1 = \Delta \dot{U}$, где $\Delta \dot{U}$ представляет собой геометрическую сумму падений напряжения на активном r_1 , а также на синхронных индуктивных сопротивлениях обмотки статора x_d, x_q по продольной и поперечной осям соответственно, т. е. $\Delta \dot{U} = \dot{I}_1 r_1 + j \dot{I}_d x_d + j \dot{I}_q x_q$.

Поскольку $\dot{E}_1 = \Delta \dot{U} - \dot{U}_c$, то, вводя в рассмотрение вектор \dot{U}_1 , характеризующий напряжение на зажимах обмотки статора синхронного двигателя, численно равный вектору \dot{U}_c , но находящийся с ним в противофазе, окончательно получим:

$$\dot{E}_1 = \dot{U}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j \dot{I}_d x_d + j \dot{I}_q x_q. \quad (1)$$

Выражению (1) соответствует векторная диаграмма, представленная на рис. 1 и построенная для режима перевозбуждения синхронного двигателя, когда ЭДС возбуждения $E_1 > U_1$. На векторной диаграмме ось d_3 представляет собой продольную ось эквивалентного генератора сети, к которой подключен данный синхронный двига-

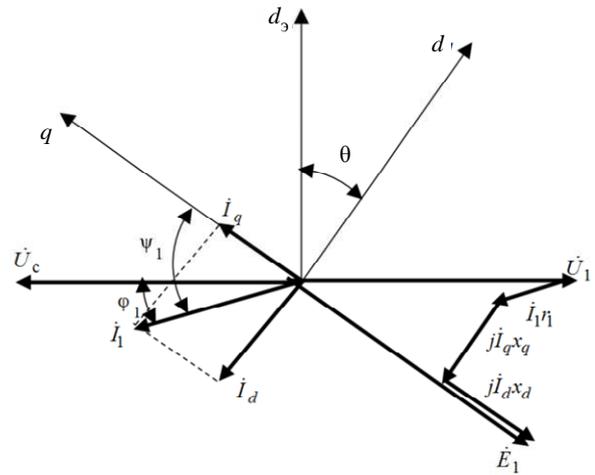


Рис. 1

тель, продольная ось которого d отстает от оси d_3 на угол нагрузки θ .

Синхронный двигатель при работе под нагрузкой потребляет из сети ток I_1 , вектор которого \dot{I}_1 опережает во времени по фазе вектор напряжения сети \dot{U}_c на угол φ_1 при работе двигателя в режиме перевозбуждения. Угол ψ_1 определяет фазу тока \dot{I}_1 относительно линии вектора ЭДС возбуждения \dot{E}_1 .

В соответствии с векторной диаграммой запишем (1) в проекциях на оси d и q :

$$\left. \begin{aligned} U_1 \cos \theta - I_1 r_1 \cos(\varphi_1 + \theta) + I_d x_d &= E_1, \\ U_1 \sin \theta - I_1 r_1 \sin(\varphi_1 + \theta) - I_q x_q &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Поскольку в соответствии с векторной диаграммой имеем $\varphi_1 + \theta = \psi_1$, то тогда для составляющих тока обмотки статора можно написать следующие соотношения: $I_1 \cos(\varphi_1 + \theta) = I_1 \cos \psi_1 = I_q$, $I_1 \times \sin(\varphi_1 + \theta) = I_1 \sin \psi_1 = I_d$.

При учете полученных соотношений система (2) примет вид

$$\left. \begin{aligned} U_1 \cos \theta - I_q r_1 + I_d x_d &= E_1, \\ U_1 \sin \theta - I_d r_1 - I_q x_q &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

и тогда решение (3) относительно токов обмотки статора I_d, I_q :

$$I_d = \frac{E_1 x_q - U_1 \cos \theta x_d + U_1 \sin \theta r_1}{r_1^2 + x_q x_d},$$

$$I_q = \frac{U_1 \cos \theta r_1 + U_1 \sin \theta x_d - E_1 r_1}{r_1^2 + x_q x_d}.$$

Разделим числители и знаменатели выражений для токов I_d, I_q на активное сопротивление r_1 обмотки статора и, введя в рассмотрение относительные значения индуктивных сопротивлений обмотки статора по продольной $x_{d*} = x_d/r_1$ и поперечной $x_{q*} = x_q/r_1$ осям соответственно, получим

$$I_d = \frac{E_1 x_{q*} - U_1 \cos \theta x_{d*} + U_1 \sin \theta_1}{r_1 (1 + x_{d*} x_{q*})}, \quad (4)$$

$$I_q = \frac{U_1 \cos \theta_1 + U_1 \sin \theta x_{d*} - E_1}{r_1 (1 + x_{d*} x_{q*})}.$$

В выражениях (4) вынесем в качестве общих множителей напряжение U_1 и, введя обозначение для коэффициента возбуждения $k_B = E_1/U_1$, получим следующие окончательные выражения для токов:

$$I_d = \frac{U_1 (k_B - \cos \theta) x_{q*} + \sin \theta}{r_1 (1 + x_{d*} x_{q*})}, \quad (5)$$

$$I_q = \frac{U_1 x_{d*} \sin \theta - (k_B - \cos \theta)}{r_1 (1 + x_{d*} x_{q*})}.$$

Фазный ток, потребляемый из сети синхронным явнополюсным двигателем, при работе его под нагрузкой с учетом (5) имеет действующее значение

$$I_1 = \sqrt{I_d^2 + I_q^2} = \frac{U_1}{r_1} \times \left\{ \left[(k_B - \cos \theta) x_{q*} + \sin \theta \right]^2 + \left[x_{d*} \sin \theta - (k_B - \cos \theta) \right]^2 \right\}^{1/2} / (1 + x_{d*} x_{q*}). \quad (6)$$

Введем в рассмотрение функцию тока

$$F_I = \left\{ \left[(k_B - \cos \theta) x_{q*} + \sin \theta \right]^2 + \left[x_{d*} \sin \theta - (k_B - \cos \theta) \right]^2 \right\}^{1/2} / (1 + x_{d*} x_{q*}), \quad (7)$$

и тогда ток обмотки статора синхронного явнополюсного двигателя с учетом (6) и (7)

$$I_1 = \frac{U_1}{r_1} F_I. \quad (8)$$

Введение понятий относительных индуктивных сопротивлений обмотки статора позволяет сократить количество возможных переменных, упрощает форму записи выражений, а также дает возможность ввести дополнительную плоскость для анализа статических процессов в синхронных машинах, в которой в качестве основной незави-

симой переменной принимается относительное индуктивное сопротивление обмотки статора по продольной оси x_{d*} .

Анализ технических данных синхронных явнополюсных машин [3] показал, что зависимость относительного синхронного индуктивного сопротивления обмотки статора по продольной оси синхронной машины x_{d*} от ее полезной активной мощности на зажимах обмотки статора P_1 , т.е. зависимость $x_{d*} = f(P_1)$ представляет собой монотонную возрастающую функцию. Увеличение активной мощности синхронной машины сопровождается снижением синхронного индуктивного сопротивления обмотки статора по продольной оси x_d при одновременном уменьшении активного сопротивления этой обмотки r_1 , но при этом r_1 снижается значительно быстрее по сравнению с x_d , так что, в целом, $x_{d*} = x_d/r_1$ при увеличении активной мощности синхронной машины как параметр повышается. Таким образом, существует определенная корреляция между величинами x_{d*} и P_1 . В результате оказывается, что, например, анализируя функцию тока (7) по параметру x_{d*} , мы фактически оцениваем влияние активной мощности синхронной машины на действующее значение ее фазного тока.

Из (7) следует, что функция тока синхронного явнополюсного двигателя – величина безразмерная, что позволяет в одном масштабе достаточно просто сравнивать между собой синхронные машины разной мощности безотносительно к действующему значению U_1 их фазного напряжения.

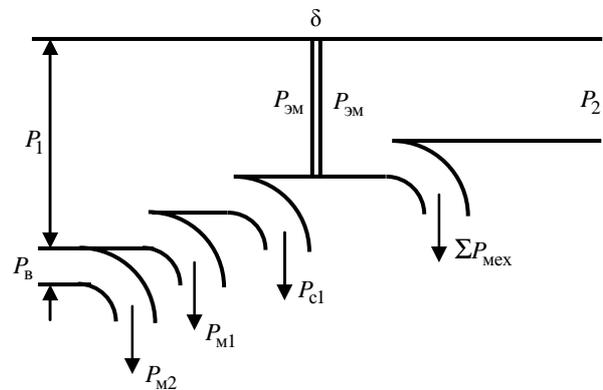


Рис. 2

При составлении выражений для потребляемой активной P_1 и электромагнитной $P_{эм}$ мощностей синхронного явнополюсного двигателя воспользуемся его энергетической диаграммой,

представленной на рис. 2, где приняты следующие обозначения: $P_{M2} = U_2 I_2 = I_2^2 (r_2 + \rho)$ – электрические потери в цепи возбуждения синхронного двигателя; δ – воздушный зазор; P_2 – полезная механическая мощность на валу синхронного двигателя; $P_{M1} = m_1 I_1^2 r_1$ – электрические потери в m_1 -фазной обмотке статора с активным сопротивлением r_1 ; P_{c1} – магнитные потери в стали статора; $\sum P_{\text{мех}}$ – полные механические потери в синхронном двигателе.

Электрические потери в обмотке статора при учете (7) и (8) определяются выражением

$$P_{M1} = m_1 I_1^2 r_1 = m_1 \frac{U_1^2}{r_1} F_I^2, \quad (9)$$

т. е. указанные потери пропорциональны квадрату функции тока обмотки статора F_I .

Потребляемая из сети синхронным явнополюсным двигателем активная мощность P_1 определяется известным выражением $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$.

По рис. 1 угол $\varphi_1 = \psi_1 - \theta$. Так как $\cos \varphi_1 = \cos(\psi_1 - \theta) = \cos \psi_1 \cos \theta + \sin \psi_1 \sin \theta$ и $I_1 \times \cos \psi_1 = I_d$, $I_1 \sin \psi_1 = I_q$, то выражение для P_1 примет вид $P_1 = m_1 U_1 I_d \cos \theta + m_1 U_1 I_q \sin \theta$. Подставив в данное выражение токи из (5), после преобразований получим следующее выражение для потребляемой из сети активной мощности синхронным явнополюсным двигателем в следующем виде:

$$P_1 = m_1 \frac{U_1^2}{r_1} \times \frac{2 + (x_{d*} - x_{q*}) \sin 2\theta + 2k_B (x_{q*} \sin \theta - \cos \theta)}{2(1 + x_{q*} x_{d*})}. \quad (10)$$

Введем в рассмотрение два дополнительных обозначения: k_p – коэффициент пропорциональности по мощности и F_{P1} – функцию потребляемой активной мощности, с учетом которых (10) примет вид $P_1 = k_p F_{P1}$, где

$$k_p = m_1 \frac{U_1^2}{r_1};$$

$$F_{P1} = \frac{1}{1 + x_{q*} x_{d*}} + \frac{(x_{d*} - x_{q*}) \sin 2\theta}{2(1 + x_{q*} x_{d*})} + \frac{k_B x_{q*} \sin \theta}{1 + x_{q*} x_{d*}} - \frac{k_B \cos \theta}{1 + x_{q*} x_{d*}}. \quad (11)$$

Как следует из (11), для функции мощности F_{P1} эта функция имеет четыре составляющие, и прежде всего это $F'_{P1} = 1/(1 + x_{q*} x_{d*})$, – постоянная относительно угла нагрузки θ , т. е. существует как при холостом ходе синхронного явнополюсного двигателя, так и при работе его под нагрузкой. Можно предположить, что именно эта составляющая непосредственно и учитывает магнитные потери в стали статора и механические потери в двигателе.

Главная особенность (11) – то, что в классической теории синхронных машин при выводе выражений для электромагнитной мощности и электромагнитного момента не учитывается активное сопротивление обмотки статора, и по этой причине, в частности, а также при пренебрежении магнитными потерями в стали статора электромагнитная мощность синхронной машины $P_{ЭМ}$ оказывается равной ее потребляемой активной мощности P_1 (см. рис. 2) и обе они определяются выражением, имеющим лишь две составляющие:

$$P_{ЭМ} = P_1 = m_1 \frac{k_B U_1^2}{x_d} \sin \theta + \frac{1}{2} m_1 U_1^2 \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta, \quad (12)$$

первая из которых связана с возбуждением синхронного двигателя (коэффициент k_B) и пропорциональна $\sin \theta$, а вторая обусловлена неравенством синхронных индуктивных сопротивлений обмотки статора по продольной x_d и поперечной x_q осям, а именно $x_q < x_d$, и пропорциональна $\sin 2\theta$. Естественно, что при учете активного сопротивления обмотки статора амплитудные значения соответствующих слагаемых в (11) и (12) различаются.

Учет сопротивления r_1 приводит к появлению постоянной составляющей F'_{P1} в (11) для F_{P1} и дополнительной переменной составляющей в этом выражении

$$F''_{P1} = -\frac{k_B \cos \theta}{1 + x_{q*} x_{d*}}.$$

Функция F''_{P1} оказывается отрицательной, зависит от возбуждения синхронного двигателя и пропорциональна $\cos \theta$. Степень влияния на эту составляющую собственных параметров двигателя

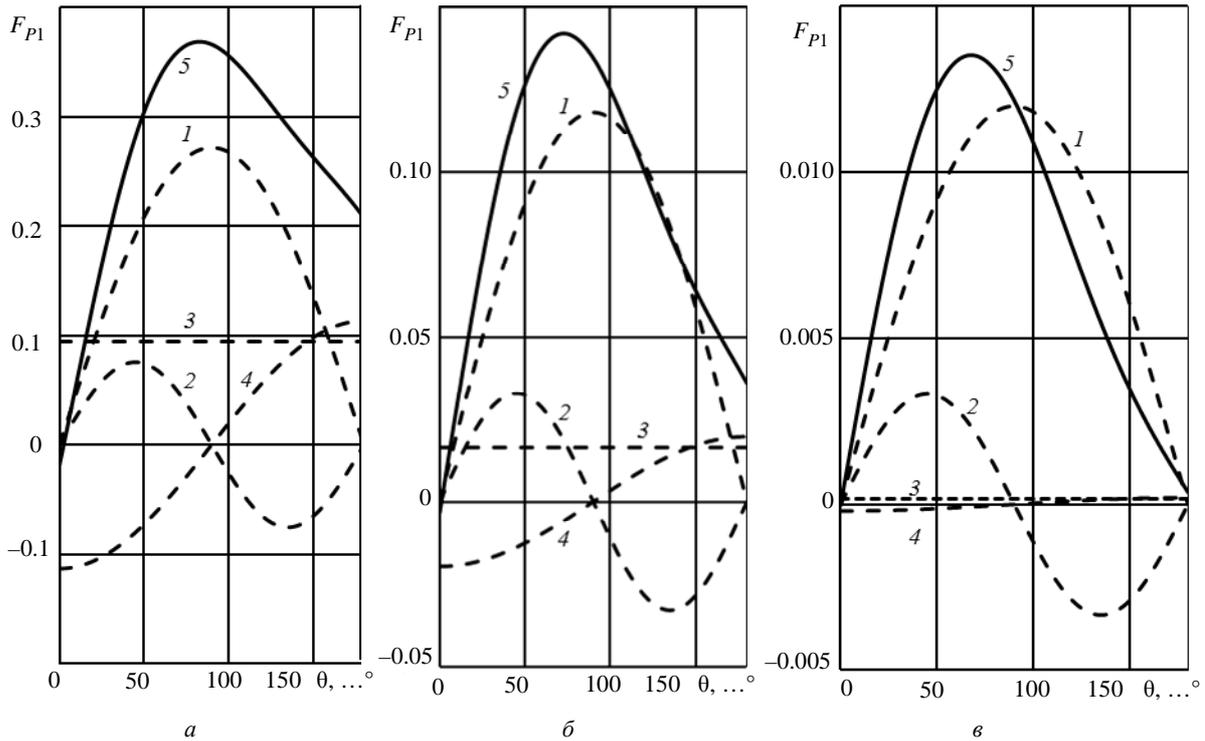


Рис. 3

x_{d^*} , x_{q^*} имеет тот же уровень, что и на остальные составляющие, так как их знаменатели одинаковы.

Обозначим через $F_{P11} = \frac{k_B x_{q^*} \sin \theta}{1 + x_{q^*} x_{d^*}}$ и $F_{P12} = \frac{(x_{d^*} - x_{q^*}) \sin 2\theta}{2(1 + x_{q^*} x_{d^*})}$ главные составляющие по-

требляемой активной мощности синхронного явнополюсного двигателя.

На рис. 3, а-в представлены F_{P11} , F_{P12} , F'_{P1} , F''_{P1} (кривые 1-4 соответственно), а также результирующая кривая F_{P1} (кривая 5) в зависимости от угла нагрузки θ для трех числовых значений параметра $x_{d^*} = 4; 10; 100$ и $x_{q^*} = 0.6x_{d^*}$ в режиме перевозбуждения с $k_B = 1.2$.

Из рис. 3 видно, что увеличение значений параметра x_{d^*} сопровождается изменением формы результирующей кривой F_{P1} за счет ослабления влияния постоянной составляющей F'_{P1} и дополнительной переменной отрицательной составляющей F''_{P1} . И при $x_{d^*} > 10$ (рис. 3, в) форма кривой функции потребляемой активной мощности F_{P1} определяется главными составляющими F_{P11} и F_{P12} (кривые 1 и 2).

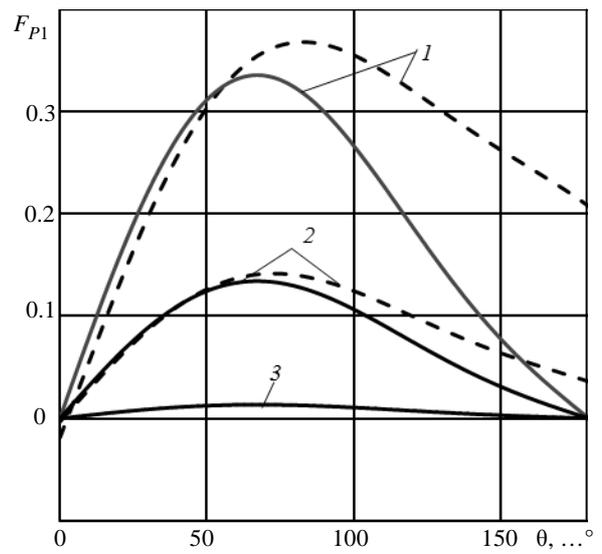


Рис. 4

Для сравнения на рис. 4 графически представлены зависимости, определяемые (11) и (12), и соответствующие функции потребляемой активной мощности при постоянном коэффициенте возбуждения $k_B = 1.2$ для $x_{d^*} = 4; 10; 100$ (кривые 1-3 соответственно) с учетом (штриховые линии) и без учета (сплошные линии) r_1 . Видно, что при малых значениях параметра x_{d^*} (при значениях мощности двигателя) значение критического угла для потребляемой активной мощности при учете активного сопротивления обмотки

статора будет больше, чем при его пренебрежении, с увеличением x_{d*} разница между критическими углами уменьшается и при значениях $x_{d*} \geq 100$ они становятся одинаковыми.

Принимая во внимание (9) и (11), составим предварительное выражение для электромагнитной мощности синхронного явнополюсного двигателя, которое в соответствии с его энергетической диаграммой $P_{ЭМ} = P_1 - P_{M1} = k_p F_{P1} - k_p F_I^2 = k_p \times (F_{P1} - F_I^2) = k_p F_{ЭМ}$, где $F_{ЭМ} = F_{P1} - F_I^2$ представляет собой функцию электромагнитной мощности синхронного явнополюсного двигателя.

Электрические потери P_{M1} в обмотке статора синхронного явнополюсного двигателя определяются (9), а потребляемая двигателем из сети активная мощность P_1 характеризуется (11). В соответствии с энергетической диаграммой (см. рис. 2) электромагнитная мощность $P_{ЭМ} = P_1 - P_{M1}$, если не учитывать потери P_{C1} .

Так как электромагнитный момент синхронной машины $M_{ЭМ} = P_{ЭМ} / \omega_1 = k_p F_{ЭМ} / \omega_1$, то, обозначив через $k_M = k_p / \omega_1$ коэффициент пропорциональности по электромагнитному моменту, получим $M_{ЭМ} = k_M F_{ЭМ}$. Таким образом, функция $F_{ЭМ}$ описывает в относительных единицах одновременно угловые характеристики электромагнитных мощности и момента синхронного явнополюсного двигателя.

Функция электромагнитной мощности синхронного явнополюсного двигателя пределяется выражением

$$F_{ЭМ} = \frac{k_B (2x_{d*} - x_{q*} + x_{q*}^2 x_{d*}) \sin \theta}{(1 + x_{q*} x_{d*})^2} + \frac{k_B (1 - x_{q*} x_{d*} + 2x_{q*}^2) \cos \theta}{(1 + x_{q*} x_{d*})^2} - \frac{k_B^2 (x_{q*}^2 - 1)}{(1 + x_{q*} x_{d*})^2} + \frac{(x_{q*} x_{d*} - 1)(x_{d*} - x_{q*}) \sin 2\theta}{2(1 + x_{q*} x_{d*})^2} + \frac{(x_{d*}^2 - x_{q*}^2) \cos 2\theta}{2(1 + x_{q*} x_{d*})^2} - \frac{(x_{d*} - x_{q*})^2}{2(1 + x_{q*} x_{d*})^2}. \quad (13)$$

Из (13) видно, что функция электромагнитной мощности синхронного явнополюсного двигателя имеет шесть составляющих, которые могут быть объединены в две группы, первую из которых обозначим через $F_{ЭМ.в}$ и слагаемые которой обусловлены коэффициентом возбуждения k_B , во второе время как слагаемые второй группы $F_{ЭМ.р}$ не зависят от возбуждения двигателя и определяются неравенством синхронных индуктивных сопротивлений обмотки статора по продольной и поперечной осям $x_{d*} > x_{q*}$, и тогда $F_{ЭМ} = F_{ЭМ.в} + F_{ЭМ.р}$, где

$$F_{ЭМ.в} = \frac{k_B (2x_{d*} - x_{q*} + x_{q*}^2 x_{d*}) \sin \theta}{(1 + x_{q*} x_{d*})^2} + \frac{k_B (1 - x_{q*} x_{d*} + 2x_{q*}^2) \cos \theta}{(1 + x_{q*} x_{d*})^2} - \frac{k_B^2 (x_{q*}^2 - 1)}{(1 + x_{q*} x_{d*})^2}, \quad (14)$$

$$F_{ЭМ.р} = \frac{(x_{q*} x_{d*} - 1)(x_{d*} - x_{q*}) \sin 2\theta}{2(1 + x_{q*} x_{d*})^2} + \frac{(x_{d*}^2 - x_{q*}^2) \cos 2\theta}{2(1 + x_{q*} x_{d*})^2} - \frac{(x_{d*} - x_{q*})^2}{2(1 + x_{q*} x_{d*})^2}. \quad (15)$$

Из (14) и (15) следует, что каждая группа содержит по три слагаемых, первые два из которых являются гармоническими функциями угла нагрузки θ , а третьи слагаемые от угла θ не зависят, т. е. оказываются постоянными и отрицательными, а значит, учет активного сопротивления обмотки статора имеет своим следствием снижение электромагнитной мощности и момента синхронного явнополюсного двигателя.

На рис. 5 графически представлены функции электромагнитной мощности $F_{ЭМ}$ (кривая 1) и ее составляющие: зависящие от коэффициента возбуждения $F'_{ЭМ.в}$, $F''_{ЭМ.в}$, $F'''_{ЭМ.в}$ (кривые 1-3 соответственно) и реактивные составляющие $F'_{ЭМ.р}$, $F''_{ЭМ.р}$, $F'''_{ЭМ.р}$ (кривые 4-6 соответственно) в зависимости от угла нагрузки θ для трех числовых значений параметра $x_{d*} = 4; 10; 100$ и $x_{q*} = 0.6x_{d*}$ (рис. 5, а-в соответственно) в режиме перевозбуждения с $k_B = 1.2$.

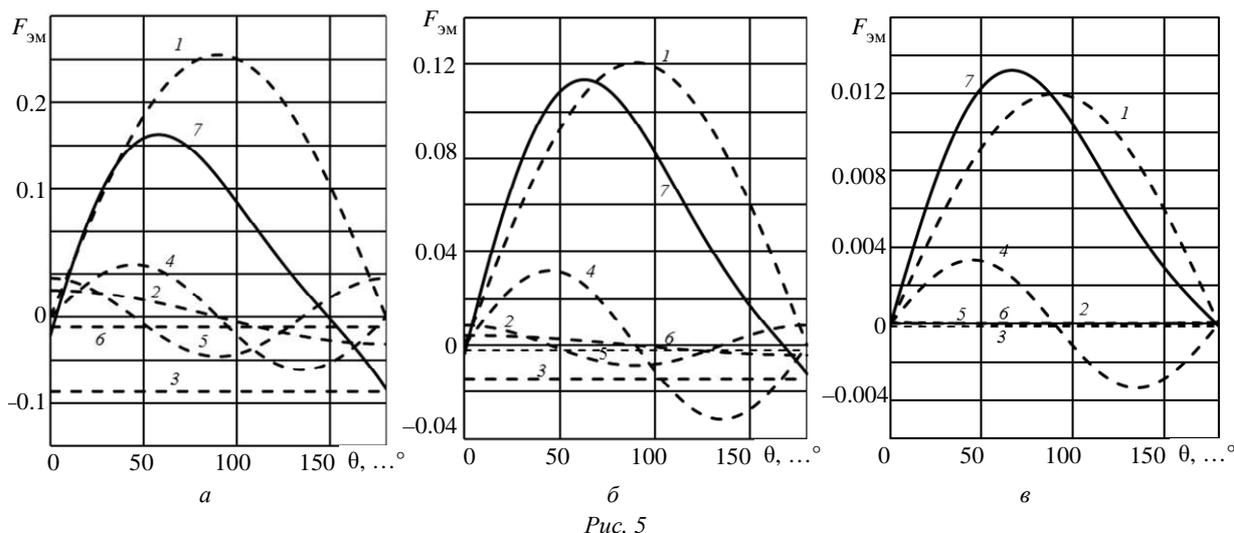


Рис. 5

Кривые на рис. 5 дают наглядное представление о соотношении составляющих электромагнитной мощности между собой, а также об их совокупном вкладе в электромагнитную мощность синхронного явнополюсного двигателя. В частности, видно, что при $x_{d*} < 10$ (рис. 5, а, б) «удельный вес» составляющих 2–6 оказывается очень значительным и результирующая кривая 7 меньше первой, или основной, составляющей кривой 1, в то время как при $x_{d*} > 10$ (рис. 5, в) составляющие 2, 3 и 5, 6 пренебрежимо малы и определяющими становится кривая 1, обусловленная возбуждением, и первая реактивная составляющая 4, которая в пределах рабочего диапазона значений угла нагрузки $\theta < 90^\circ$ положительна, и поэтому результирующая кривая 7 для указанных значений угла θ проходит выше кривой 1.

Угол нагрузки, соответствующий максимуму функции $F_{P\text{эм}}$, обозначим через $\theta_{mP\text{эм}}$ – он называется критическим углом для электромагнитной мощности (рис. 6). Из рисунка видно, что угол $\theta_{mP\text{эм}}$ изменяется лишь при малых значениях параметра x_{d*} , что соответствует синхронным явнополюсным двигателям небольшой мощности, и, начиная с $x_{d*} = 20$ остается практически постоянным и составляет 66° .

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. При увеличении относительного продольного индуктивного сопротивления x_{d*} влияние постоянной составляющей на потребляемую активную мощность уменьшается, и при больших значениях x_{d*} , т. е. при значительной мощности синхронного явнополюсного двигателя ее можно не учитывать.

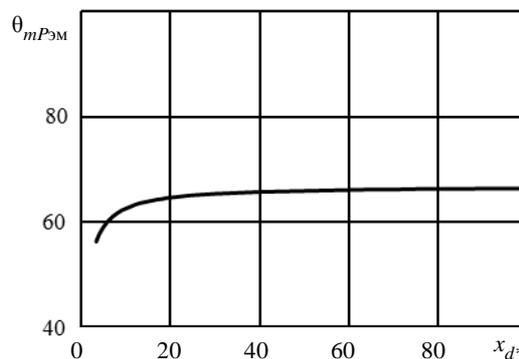


Рис. 6

2. Критический угол нагрузки для электромагнитной мощности быстро возрастает при малых значениях $x_{d*} < 20$ и при дальнейшем росте x_{d*} практически не меняется.

3. Учет активного сопротивления обмотки статора позволяет формализовать анализ синхронных явнополюсных двигателей относительно их мощности, а также дает возможность оценить влияние этого сопротивления на форму кривой электромагнитной мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваганов М. А., Пименова И. А. Особенности синхронного неявнополюсного генератора при уче-

те активного сопротивления обмотки статора // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. № 8. С. 47–54.

2. Ваганов М. А., Пименова И. А. Синхронный неявнополюсный двигатель при учете активного сопротивления обмотки статора // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014. № 3. С. 59–64.

D. Sh. Abdullin, I. A. Butulin, M. A. Vaganov
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

THE IMPACT RESISTANCE OF THE STATOR WINDING TO THE ANGULAR CHARACTERISTICS SALIENT POLE SYNCHRONOUS MOTOR

Examines the impact resistance of the stator winding on the properties of the synchronous salient pole motor, depending on its power. For ease of analysis, are introduced in consideration of the relative values of synchronous inductive resistance of the stator winding in the longitudinal and transverse axes as well as the dimensionless function characterizing the consumption and electromagnetic power and electromagnetic torque of the synchronous.

Salient pole synchronous motor, the resistance of the stator winding, being functions of the electromagnetic torque, the coefficient of excitation, electrical losses in the stator winding, the critical angle load
