

УДК 621.313

М. А. Ваганов, Ю. А. Грубман, В. В. Демидова
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

К вопросу о площади пазов статора и ротора асинхронных общепромышленных двигателей

Анализируется влияние числа полюсов, числа зубцов и значений магнитных индукций асинхронного двигателя на площадь овальных и прямоугольных пазов. Изменение значений набора магнитных индукций не влияет на площадь пазов, с увеличением числа пазов суммарная площадь пазов увеличивается, характер зависимости нелинейный. С увеличением числа полюсов площадь овальных пазов статора и ротора уменьшается, площадь прямоугольных пазов статора уменьшается при переходе от двухполюсных машин к четырехполюсным, а затем увеличивается, площадь прямоугольных пазов ротора уменьшается до восьмиполюсных машин, а при дальнейшем увеличении – несколько увеличивается.

Коэффициент пропорциональности площади паза, относительный диаметр расточки статора, магнитная индукция в воздушном зазоре, прямоугольные и овальные пазы статора, число полюсов, число пазов, функциональный множитель

Задача расчета оптимальных по степени использования материалов электрических машин переменного тока рассматривается в [см. лит.], где предлагается в качестве оптимизируемой целевой функции выбрать непосредственно электромагнитный момент оптимизируемой электрической машины. Известное из литературы выражение для электромагнитного момента асинхронного двигателя можно преобразовать к виду

$$M_{эм} = k_F D_{1н}^5 F_{M*} F,$$

где F – параметрический множитель, который зависит от скольжения ротора и активных и индуктивных сопротивлений обмоток статора и ротора, а в состав коэффициента k_F входят постоянные или практически постоянные величины, а $D_{1н}$ представляет собой неизвестный наружный диаметр пакета стали статора проектируемого асинхронного двигателя.

Функциональный множитель F_{M*} в выражении (1) имеет, в свою очередь, следующий вид:

$$F_{M*} = \frac{D_{1*}^4 l_1^2 B_0^2 \sqrt{k_{п1} k_{п2}}}{\left[k_{л1} l_1 + k_{\beta 1} (D_{1*} / p) \right] \left(l_1 + \frac{\pi D_{k*} k_j}{z_2 \sin(\pi p / z_2)} \right)} \frac{1}{p},$$

где $k_{п1}$ и $k_{п2}$ – коэффициенты пропорциональности, входящие в выражения для площадей пазов

статора и ротора соответственно и зависящие от формы пазов статора и ротора, полная расшифровка всех остальных обозначений приведена в [см. лит.]. Там представлены выражения для коэффициентов пропорциональности $k_{п1}$ и $k_{п2}$, но отсутствует их анализ. При выводе выражений для $k_{п1}$ и $k_{п2}$ в качестве независимых переменных были приняты магнитные индукции на участках магнитной системы, а именно магнитные индукции в зубцах $B_{з1}$ и $B_{з2}$ статора и ротора, а также в сердечниках $B_{с1}$ и $B_{с2}$ статора и ротора соответственно, числа пазов статора z_1 и ротора z_2 , число пар полюсов двигателя p . В асинхронных машинах наиболее часто используются на статоре и роторе в зависимости от мощности пазы овальной и прямоугольной формы, применительно к которым и предполагается выполнить анализ.

Выражение для овальных пазов статора имеет вид [см. лит.]

$$k_{п1} = \frac{1}{4} \left(k_{с.з1}^2 k'_{z1} + k_{ш.з1}^2 k''_{z1} \right), \quad (1)$$

где $k_{с.з1}$ характеризует сердечник статора и его зубцы; k'_{z1} и k''_{z1} зависят только от числа пазов статора z_1 ; $k_{ш.з1}$ определяется шлицами и зубцами статора. Коэффициенты в (1) определяются выражениями

$$k_{с.31} = \left(\frac{1}{D_{1*}} - \frac{B_{\delta}}{pk_{c1}B_{c1}} \right) \sin \frac{\pi}{z_1} - \frac{\pi}{z_1} \frac{B_{\delta}}{k_{c1}B_{31}},$$

$$k_{ш.31} = (1 + 2h_{ш1*}) \sin \frac{\pi}{z_1} - \frac{\pi}{z_1} \frac{B_{\delta}}{k_{c1}B_{31}},$$

$$k'_{z1} = z_1 \frac{\frac{\pi}{2} \left(1 + \frac{2}{z_1} \right) + \operatorname{ctg} \frac{\pi}{z_1}}{\left(1 + \sin \frac{\pi}{z_1} \right)^2},$$

$$k''_{z1} = z_1 \frac{\frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{2}{z_1} \right) - \operatorname{ctg} \frac{\pi}{z_1}}{\left(1 - \sin \frac{\pi}{z_1} \right)^2}.$$

Аналогично для овальных пазов ротора имеем [см. лит.]

$$k_{п2} = \frac{1}{4} \left(k_{с.32}^2 k'_{z2} + k_{ш.32}^2 k''_{z2} \right), \quad (2)$$

где $k_{с.32}$ определяется сердечником и зубцами ротора; k'_{z1} и k''_{z2} зависят только от числа пазов ротора z_2 ; $k_{ш.32}$ определяется шлицами и зубцами ротора. Коэффициенты в (2) определяются по выражениям

$$k_{с.32} = \left(\frac{D_{2*}}{D_{2н*}} + \frac{B_{\delta}}{pk_{c2}B_{c2}} \right) \sin \frac{\pi}{z_2} - \frac{\pi}{z_2} \frac{B_{\delta}}{k_{c2}B_{32}},$$

$$k_{ш.32} = \left(1 - \frac{h_{ш2*}}{D_{2н*}} \right) \sin \frac{\pi}{z_2} - \frac{\pi}{z_2} \frac{B_{\delta}}{k_{c2}B_{32}},$$

$$k'_{z2} = z_2 \frac{\frac{\pi}{2} \left(1 + \frac{2}{z_2} \right) + \operatorname{ctg} \frac{\pi}{z_2}}{\left(1 + \sin \frac{\pi}{z_2} \right)^2},$$

$$k''_{z2} = z_2 \frac{\frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{2}{z_2} \right) - \operatorname{ctg} \frac{\pi}{z_2}}{\left(1 - \sin \frac{\pi}{z_2} \right)^2}.$$

Для прямоугольных пазов статора и ротора имеем [см. лит.]

$$k_{п1} = \sqrt{\left[\left(\frac{1}{D_{1*}} - \frac{B_{\delta}}{pk_{c1}B_{c1}} \right)^2 - \left[\frac{\pi}{z_1} \left(1 - \frac{B_{\delta}}{pk_{c1}B_{c1}} \right) \right]^2} - \sqrt{1 - \left[\frac{\pi}{z_1} \left(1 - \frac{B_{\delta}}{k_{c1}B_{31}} \right) \right]^2} \right] \frac{\pi}{z_1} \left(1 - \frac{B_{\delta}}{k_{c1}B_{31}} \right)}, \quad (3)$$

$$k_{п2} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d_{в2}}{D_{2н}} - \frac{B_{\delta}}{B_{c2}k_{c2}p} \right) \times$$

$$\times \left[\operatorname{tg} \alpha \left(\frac{B_{\delta}}{B_{c2}k_{c2}p} + \frac{d_{в2}}{D_{2н}} \right) - \frac{B_{\delta}\pi}{B_{32}k_{c2} \cos \alpha z_2} \right] \quad (4)$$

с соответствующей расшифровкой всех обозначений в этих выражениях в [см. лит.].

По (1), (2) были построены графики зависимости (рис. 1, 2) коэффициентов $k_{п1}$ и $k_{п2}$ от числа зубцов z_1 и z_2 соответственно для овальных пазов для двух рядов значений магнитных индукции на участках магнитной системы, B_{c1} , B_{31} , B_{c2} , B_{32} (1.5; 1.7; 1.2; 1.7 и 1.8; 2.0; 1.5; 2.0 соответственно), а также при изменении числа полюсов (от $2p=2$ на рис. 1, а и 2, а до $2p=12$ на рис. 1, е и 2, е).

Из рис. 1 и 2 видно, что при изменении магнитной индукции значения коэффициентов совпадают, зависимости накладываются друг на друга. Это согласуется с выражениями для $k_{п1}$ и $k_{п2}$, так как в них магнитные индукции входят и в числитель, и в знаменатель. Например, в выражение для $k_{п1}$ (для овальных пазов) входят отношения B_{δ}/B_{c1} и B_{δ}/B_{31} , и при изменении набора магнитных индукций эти отношения остаются постоянными, так как магнитные индукции изменяются в равной степени. Таким образом, значения коэффициентов $k_{п1}$ и $k_{п2}$ практически не зависят от значений магнитных индукций B_{c1} , B_{31} , B_{c2} , B_{32} .

Также из рис. 1 и 2 видно, что при переходе от двухполюсных двигателей к четырехполюсным графики функций $k_{п1}$ от z_1 и $k_{п2}$ от z_2 практически не изменяют своего положения, а при дальнейшем увеличении полюсов (рис. 1, в-е и 2, в-е) смещаются вниз.

В целом, зависимости $k_{п1}$ от z_1 и $k_{п2}$ от z_2 нелинейные, при изменении z_1 и z_2 от 10 до 20 происходит резкое возрастание функций $k_{п1}$ и $k_{п2}$, а при изменении z_1 и z_2 от 40 до 100 зависимости практически линейны и значения коэффициентов в этом диапазоне меняются незначительно.

Также по (3), (4) были построены аналогичные графики (рис. 3, 4) $k_{п1}$ и $k_{п2}$ от числа зубцов z_1 и z_2 соответственно для прямоугольных пазов при двух наборах значений магнитной индукции на

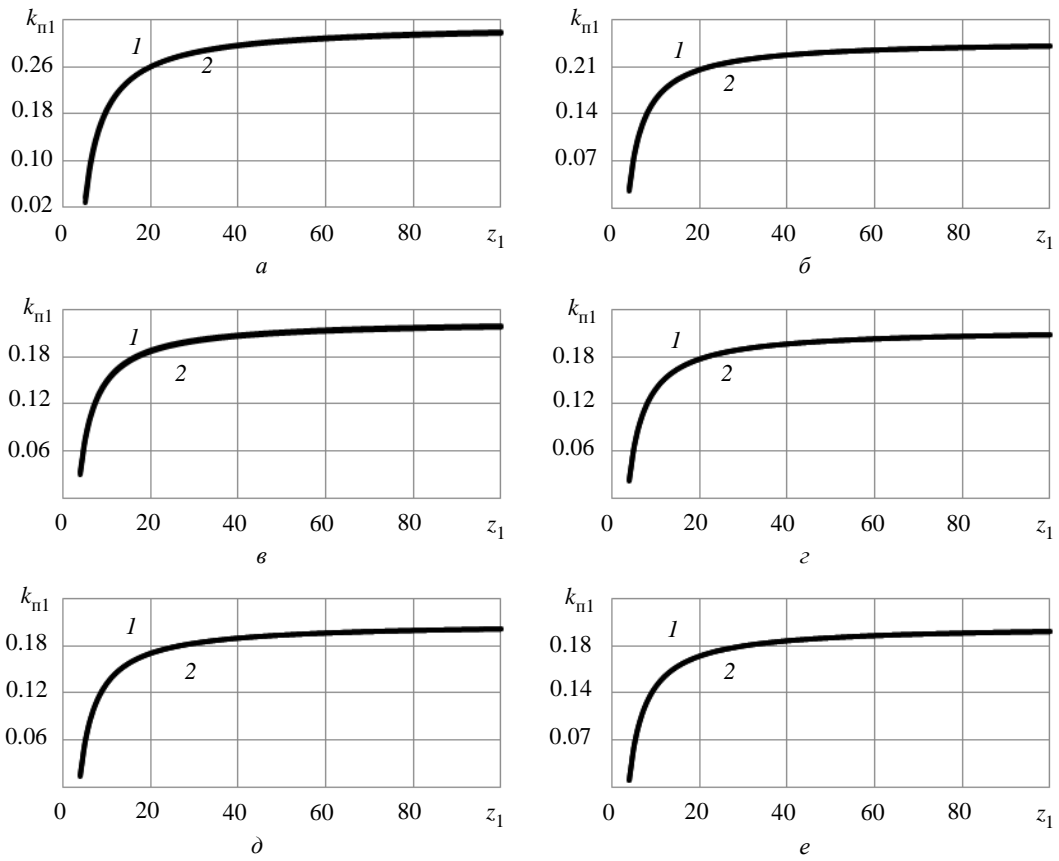


Рис. 1

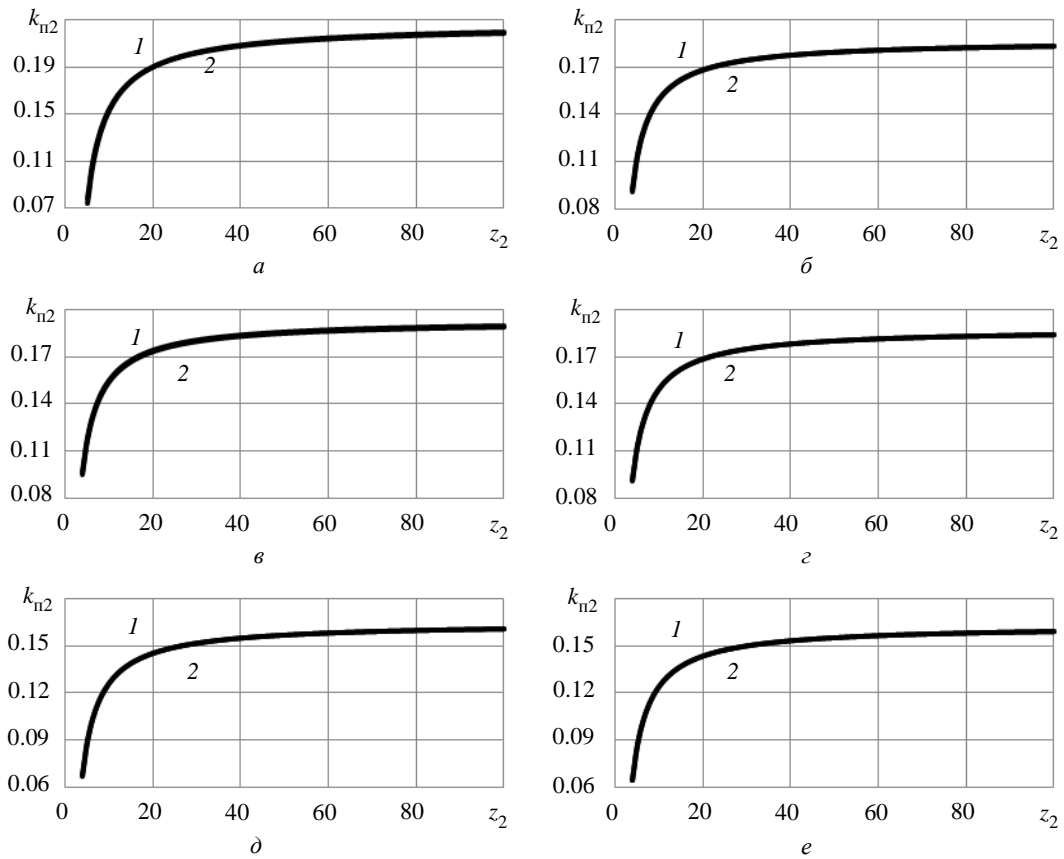


Рис. 2

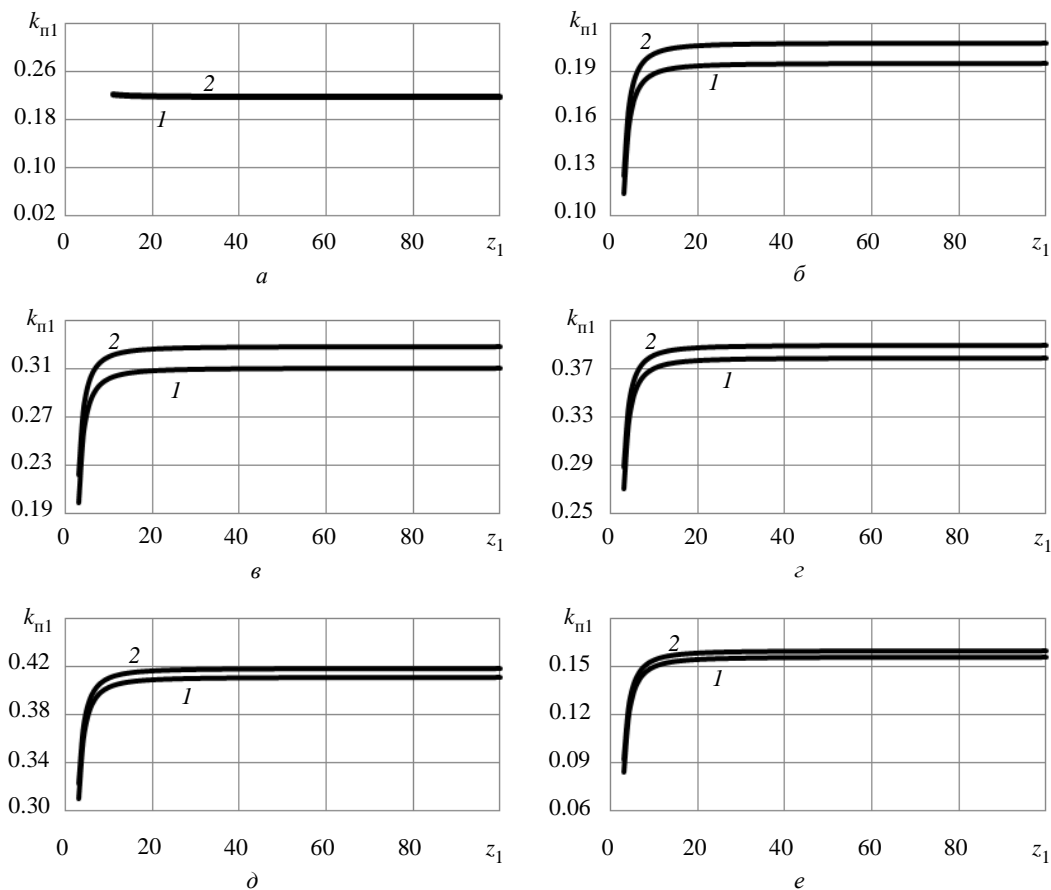


Рис. 3

участках магнитной системы, $B_{c1}, B_{31}, B_{c2}, B_{32}$ (1.5; 1.7; 1.2; 1.7 и 1.8; 2.0; 1.5; 2.0) соответственно, а также при изменении числа полюсов (от $2p = 2$ на рис. 3, а и 4, а до $2p = 12$ на рис. 3, е и 4, е).

Из рис. 3 и 4 видно, что при изменении магнитных индукций на участках магнитной системы графики функций, характеризующих коэффициенты $k_{п1}(z_1)$ и $k_{п2}(z_2)$, накладываются друг на друга или расположены достаточно близко друг относительно друга для пазов статора при $2p = 2$, а для пазов ротора – при $2p = 2, 2p = 6$ и более, т. е. числовые значения коэффициентов $k_{п1}$ и $k_{п2}$ практически совпадают.

Также из рис. 3 и 4 видно, что при переходе от двухполюсных двигателей к четырехполюсным функции $k_{п1}$ от z_1 и $k_{п2}$ от z_2 смещаются вниз; при дальнейшем увеличении полюсов (рис. 1, в–е и 2, в–е) $k_{п1}(z_1)$ смещаются вверх при увеличении полюсов, а $k_{п2}(z_2)$ продолжают смещаться в области более низких значений. При числе полюсов $2p = 6$ и выше функция $k_{п2}(z_2)$ практически не меняет своего положения.

Зависимости $k_{п1}$ от z_1 и $k_{п2}$ от z_2 для прямоугольных пазов так же, как и для овальных, нелинейные, при изменении z_1 и z_2 от 10 до 20 происходит резкое возрастание функций $k_{п1}$ и $k_{п2}$ (за исключением двухполюсных машин), а при изменении z_1 и z_2 от 20 до 100 зависимости практически линейны и значения коэффициентов в этом диапазоне меняются незначительно.

В [см. лит.] был изложен фундаментальный принцип в теории проектирования электрических машин, согласно которому для любой силовой электрической машины существуют оптимальные значения диаметра расточки статора и магнитной индукции в воздушном зазоре, которые обеспечивают наилучшее использование активных материалов данной машины. В качестве оптимизируемой функции принимается электромагнитный момент, характеризуемый функциональным множителем F_{M*} . Были рассчитаны такие оптимальные значения магнитной индукции в воздушном зазоре и относительного диаметра расточки статора, при которых достигается максимум функции F_{M*} для машин с овальной и прямоугольной

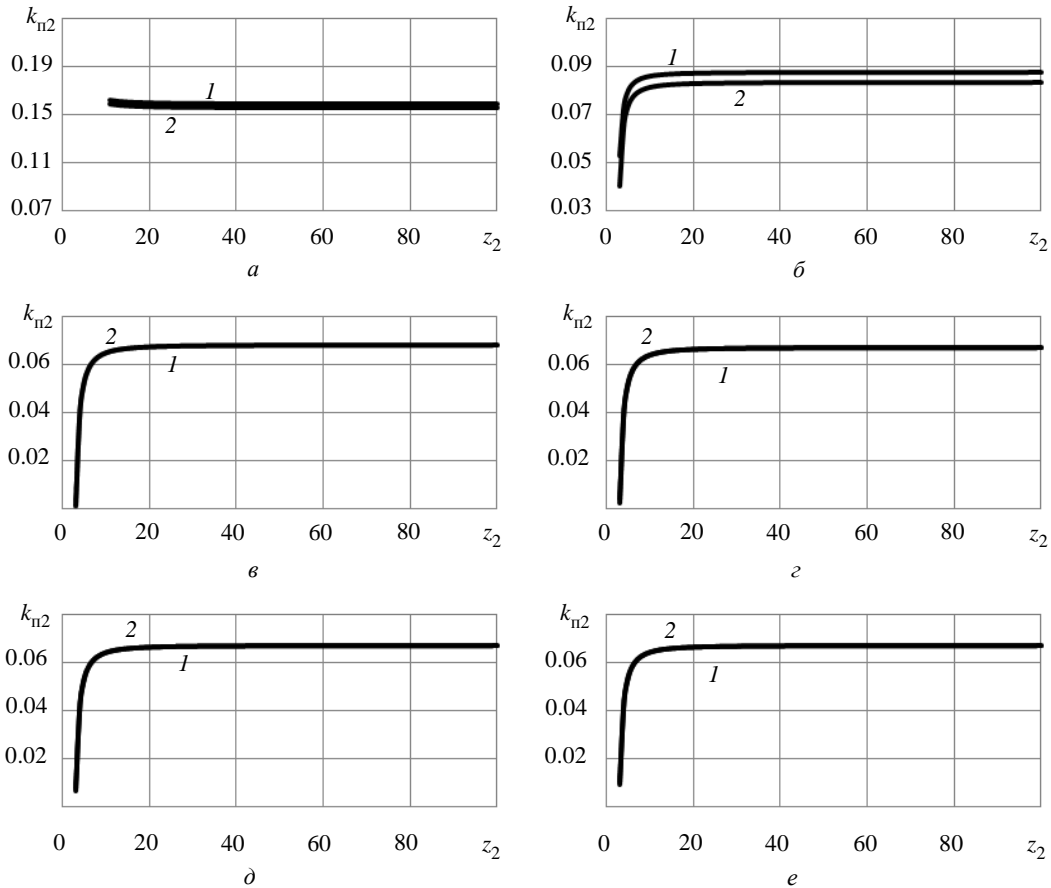


Рис. 4

формой пазов при числе полюсов от $2p = 2; 4; 6; 8; 10; 12$, и при различном числе зубцов статора и ротора. Результаты представлены в таблице.

Из таблицы видно, что максимальное значение функционального множителя F_{M*} для машин с овальными пазами достигается при числе полюсов $2p = 4$ и $2p = 6$, а для машин с прямоугольными пазами – при числе полюсов $2p = 4$. Также следует отметить, что при числе полюсов $2p = 4$ оптимальные значения магнитных индукций $B_{\delta m}$ в воздушном зазоре для овальных и прямоугольных пазов отличаются незначительно, так же как и оптимальные значения относительного диаметра расточки статора, однако значение функционального множителя при этом для машин с прямоугольными пазами больше, чем для машин с овальными пазами, примерно в 2 раза. При увеличении числа полюсов уже при $2p = 6$ значения магнитной индукции для прямоугольных пазов уменьшаются, в то время как у овальных пазов они еще повышаются, а также значения функционального множителя для машин с прямоугольными пазами уменьшаются и становятся меньше значений функционального множителя для машин с овальными пазами. При

дальнейшем увеличении числа полюсов значение функционального множителя и магнитной индукции для машин с прямоугольными пазами продолжает уменьшаться, значения магнитной индукции для машин с овальными пазами изменяются незначительно, а значения функционального множителя для таких машин уменьшается, но в меньшей степени, чем для прямоугольных машин, и при числе полюсов $2p = 8$ и больше F_{M*m} для овальных полюсов больше, чем для прямоугольных, примерно в 2 раза.

На рис. 5, 6 представлены графики зависимости коэффициентов k_{n1} и k_{n2} от числа зубцов z_1 и z_2 соответственно для овальных пазов для двух наборов значений магнитных индукции на участках магнитной системы, а также при изменении числа полюсов ($2p = 4$ на рис. 5, а и б, а; $2p = 8$ на рис. 5, б и 6, б; $2p = 12$ на рис. 5, в и 6, в). При этом при построении графиков для статора z_2 фиксировалось, а z_1 варьировалось от 1 до 100, при построении графиков для ротора z_1 фиксировалось, а z_2 варьировалось от 1 до 100. На каждом шаге определялись оптимальные значения

$B_{\delta m}$ и D_{1*m} , т. е. уточнялись графики, представленные на рис. 1, 2. Аналогичным образом были построены графики зависимости коэффициентов $k_{п1}$ и $k_{п2}$ от числа зубцов z_1 и z_2 соответственно для прямоугольных пазов, они представлены на рис. 7, 8.

Видно, что графики на рис. 5–8 незначительно отличаются от графиков, представленных на рис. 1–4, и при большом числе пазов графики совпадают. На этом основании в дальнейших построениях уточнения не выполняются.

Число полюсов	Число зубцов		Значения для пазов						
	статора	ротора	овальных			прямоугольных			
2р	z_1	z_2	D_{1*m} , о. е.	$B_{\delta m}$, Тл	$F_{M*m} \cdot 10^{-3}$, Тл ²	D_{1*m} , о. е.	$B_{\delta m}$, Тл	$F_{M*m} \cdot 10^{-3}$, Тл ²	
2	18	15	0.6224	0.4825	1.7185	0.6358	0.5347	3.7093	
		22	0.6190	0.4911	1.7897	0.6358	0.5348	3.7043	
	24	15	0.6283	0.4821	1.7844	0.6356	0.5348	3.7018	
		32	0.6227	0.4960	1.9054	0.6356	0.5349	3.6945	
	30	38	0.6254	0.4974	1.9639	0.6355	0.5349	3.6905	
	36	26	0.6297	0.4924	1.9500	0.6355	0.5349	3.6902	
		46	0.6271	0.4988	2.0079	0.6355	0.5349	3.6881	
	42	32	0.6300	0.4949	1.9952	0.6355	0.5349	3.6881	
		52	0.6284	0.4994	2.0370	0.6355	0.5349	3.6868	
	48	38	0.6307	0.4966	2.0277	0.6354	0.5349	3.6867	
		58	0.6293	0.5000	2.0593	0.6354	0.5349	3.6859	
	4	24	16	0.6495	0.8058	3.1761	0.6558	0.8063	4.5013
26			0.6542	0.8022	3.3496	0.6564	0.8088	4.5340	
36		46	0.6536	0.8034	3.4045	0.6565	0.8098	4.5446	
		34	0.6567	0.7999	3.4257	0.6566	0.8095	4.5430	
48		64	0.6562	0.8007	3.4700	0.6566	0.8101	4.5495	
		50	0.6581	0.7987	3.4841	0.6567	0.8100	4.5490	
60		74	0.6579	0.7991	3.5046	0.6567	0.8102	4.5513	
		62	0.6591	0.7977	3.5151	0.6567	0.8101	4.5511	
72		86	0.6590	0.7979	3.5292	0.6567	0.8103	4.5524	
		26	0.6905	0.8652	3.4274	0.6743	0.6594	2.8214	
6		36	46	0.6905	0.8661	3.4804	0.6745	0.6609	2.8353
			44	0.6945	0.8615	3.5374	0.6748	0.6607	2.8363
	54	68	0.6944	0.8617	3.5609	0.6748	0.6611	2.8404	
		56	0.6965	0.8593	3.5823	0.6749	0.6609	2.8396	
	72	88	0.6964	0.8595	3.6007	0.6749	0.6612	2.8422	
		74	0.6977	0.8580	3.6131	0.6750	0.6611	2.8418	
	90	80	0.6977	0.8581	3.6160	0.6750	0.6612	2.8421	
		104	0.6976	0.8581	3.6239	0.6750	0.6613	2.8430	
	8	48	36	0.7222	0.8587	3.2089	0.6838	0.5597	1.8940
			64	0.7222	0.8599	3.2459	0.6840	0.5603	1.9001
		72	56	0.7254	0.8566	3.2824	0.6841	0.5601	1.8998
			90	0.7254	0.8571	3.3014	0.6842	0.5603	1.9020
84		66	0.7263	0.8559	3.3026	0.6842	0.5602	1.9009	
		104	0.7263	0.8563	3.3179	0.6842	0.5603	1.9017	
96		78	0.7270	0.8554	3.3184	0.6842	0.5603	1.9017	
		113	0.7270	0.8557	3.3292	0.6843	0.5603	1.9027	
10		60	44	0.7440	0.8470	2.9198	0.6903	0.5084	1.4145
			76	0.7440	0.8484	2.9478	0.6904	0.5086	1.4181
		90	68	0.7467	0.8458	2.9756	0.6905	0.5086	1.4178
			106	0.7467	0.8465	2.9899	0.6906	0.5087	1.4192
	120	102	0.7480	0.8453	3.0052	0.6906	0.5086	1.4192	
	12	72	56	0.7595	0.8375	2.6550	0.6951	0.4778	1.1288
88			0.7596	0.8386	2.6728	0.6952	0.4779	1.1306	
90		68	0.7609	0.8369	2.6787	0.6952	0.4778	1.1299	
		106	0.7609	0.8377	2.6926	0.6953	0.4779	1.1311	
108		86	0.7619	0.8367	2.6969	0.6953	0.4778	1.1307	
		130	0.7619	0.8372	2.7069	0.6953	0.4779	1.1314	

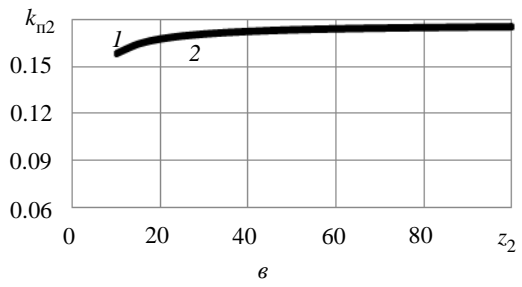
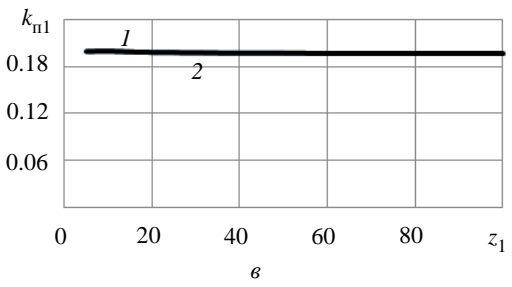
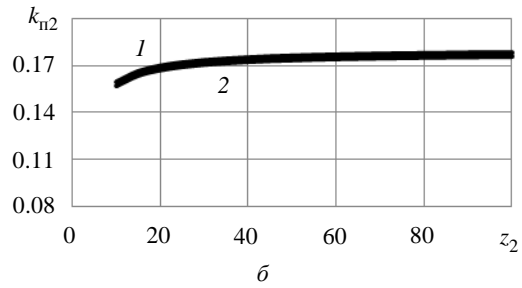
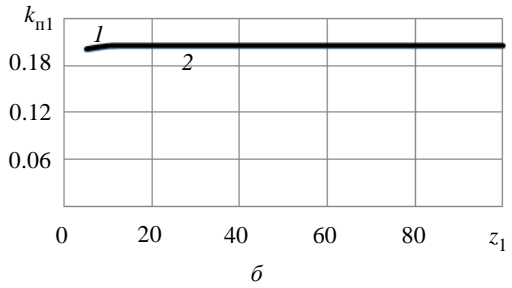
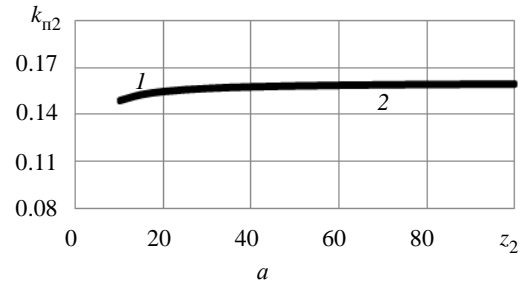
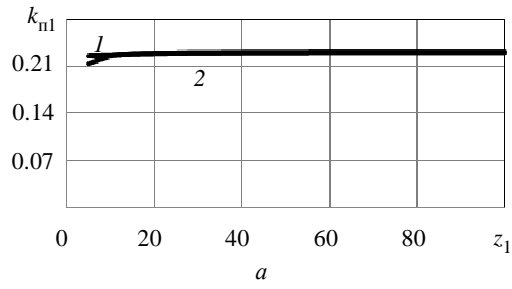


Рис. 5

Рис. 6

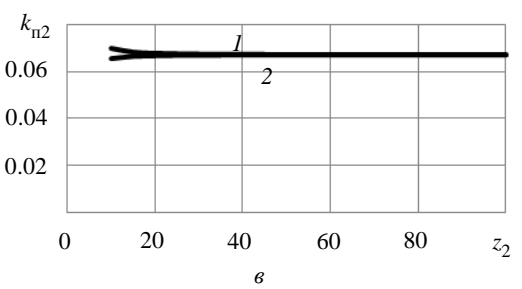
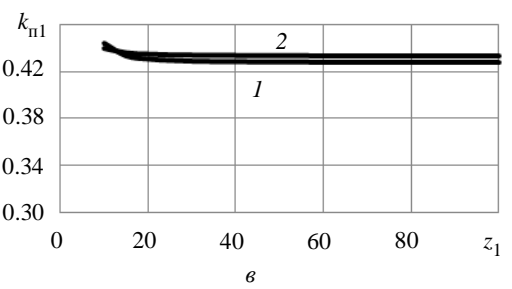
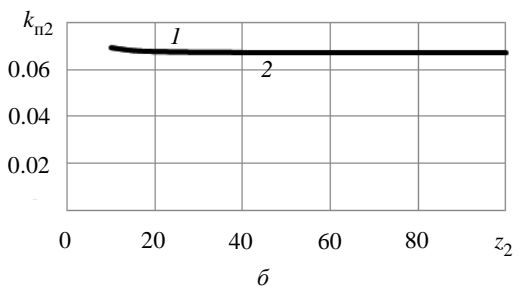
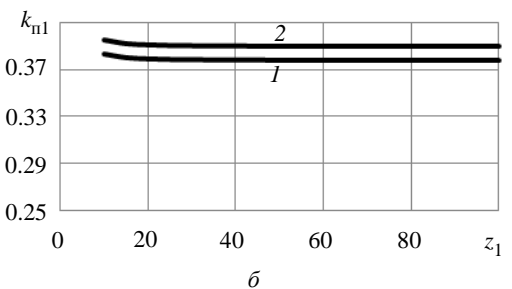
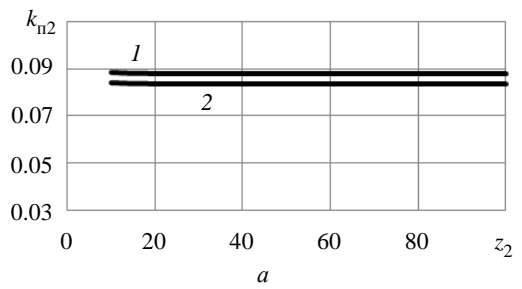
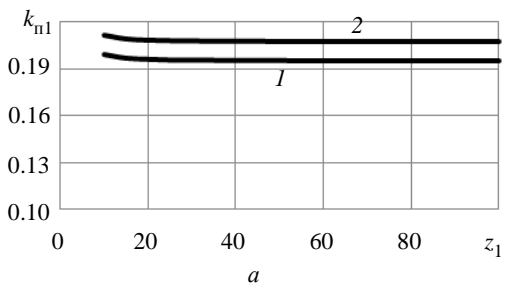


Рис. 7

Рис. 8

На рис. 9 и 10 графически представлены зависимости коэффициентов $k_{п1}$ и $k_{п2}$ от z_1 и z_2 соответственно для овальных пазов (кривая 1) и прямоугольных пазов (кривая 2), эти графики были построены на основании (1)–(4). Значения магнитных индукций в сердечниках и зубцах статора и ротора в данном случае не изменяются, так как было установлено, что их изменение не влияет на значения $k_{п1}$ и $k_{п2}$, но число полюсов изменяется от $2p = 2$ на рис. 9, а и 10, а до $2p = 12$ на рис. 9, е и 10, е). Из представленных рисунков видно, что зависимости $k_{п1}(z_1)$ и $k_{п2}(z_2)$ для овальных и прямоугольных пазов отличаются значительно во всем диапазоне изменения числа полюсов. В двухполюсных и четырехполюсных машинах функция $k_{п1}(z_1)$ для прямоугольных пазов расположена ниже этой же функции для овальных пазов, и, так как значения магнитной индукции и относительного диаметра расточки статора для этого случая совпадают, такое взаимное расположение графиков объясняется геометрией пазов. В данном случае высота сердечника

статора одинаковая, наружный и внутренний диаметры статора также одинаковы, а соответственно, площадь овальных пазов будет больше, так как для овальных пазов ширина зубца постоянна по высоте паза, а для прямоугольных пазов ширина зубца оказывается переменной и увеличивается при удалении от расточки статора. В дальнейшем при увеличении числа полюсов значения магнитной индукции в воздушном зазоре для прямоугольных пазов уменьшается, и различие между значениями относительных диаметров расточек статора возрастает для машин с овальными и прямоугольными пазами, поэтому график $k_{п1}(z_1)$ для прямоугольных пазов располагается выше соответствующего графика для овальных пазов.

Графики функции $k_{п2}(z_2)$ для прямоугольных пазов располагаются ниже, чем для овальных, во всем диапазоне изменения числа полюсов. Увеличение числа полюсов двигателя сопровождается смещением графиков функции $k_{п1}(z_1)$ для овальных и прямоугольных пазов в область более низких значений.

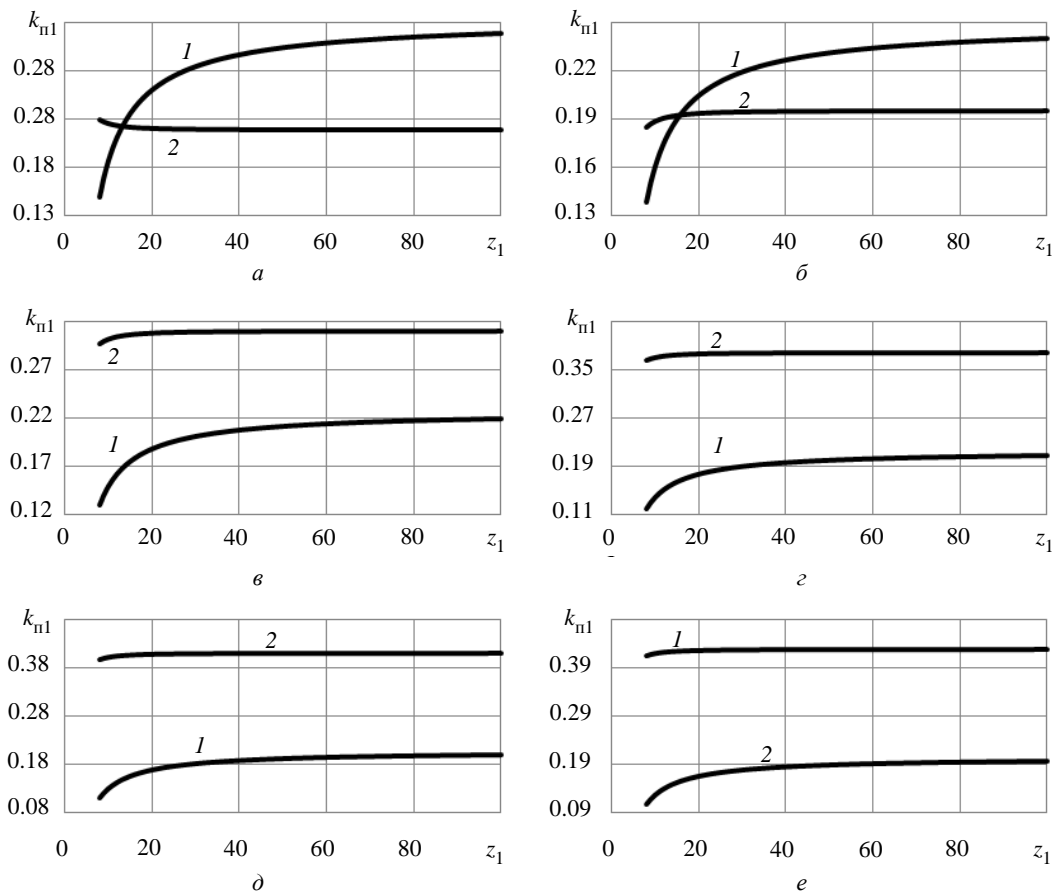


Рис. 9

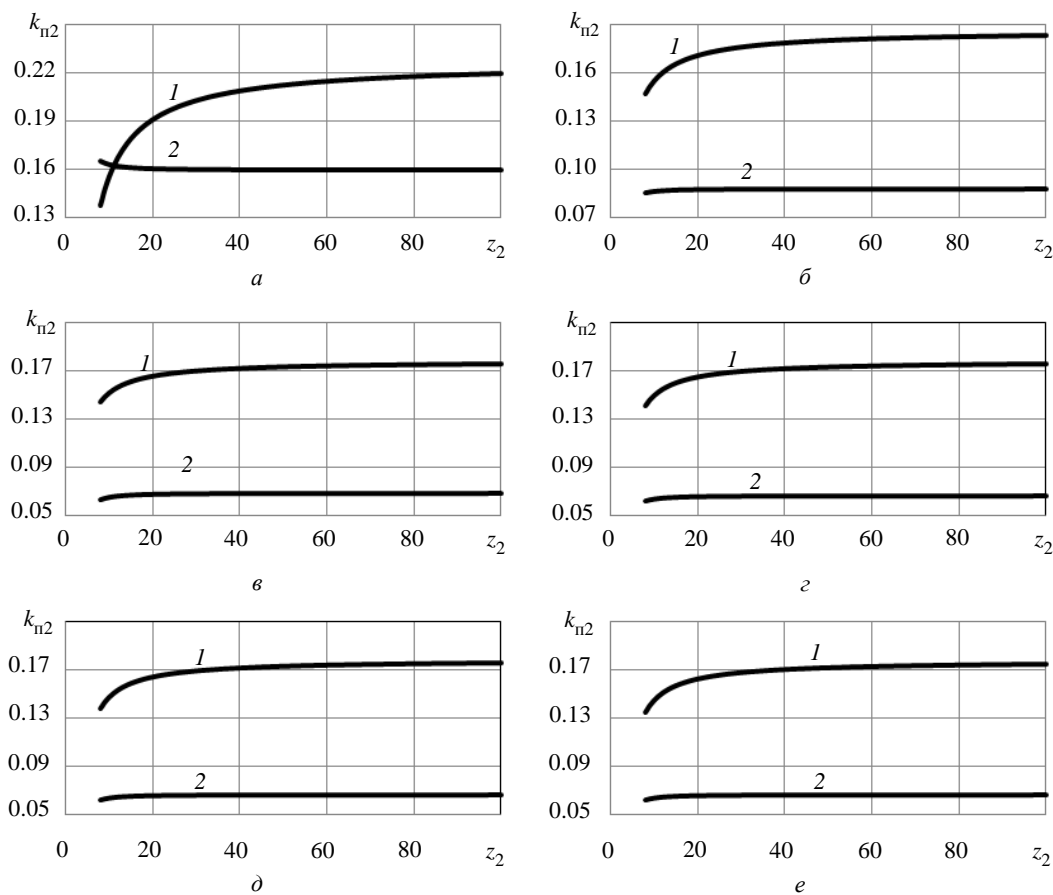


Рис. 10

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Значения коэффициентов пропорциональности k_{n1} и k_{n2} практически не зависят от значений магнитной индукции на участках магнитной системы.

2. Максимальное значение функционального множителя для машин с овальными пазми достигается при числе полюсов $2p = 4$ и $2p = 6$, а для машин с прямоугольными пазми – при числе полюсов $2p = 4$.

3. Зависимости коэффициентов пропорциональности k_{n1} и k_{n2} для овальных пазми при числе пазми статора и ротора меньше 40 – нелинейные, на этом участке происходит значительное возрастание функций $k_{n1}(z_1)$ и $k_{n2}(z_2)$, а при дальнейшем увеличении z_1 и z_2 значения функций практически не изменяются. Для прямо-

угольных пазми значения k_{n1} и k_{n2} в целом остаются постоянными во всем диапазоне изменения числа полюсов ($10 < z < 100$).

4. В двухполюсных и четырехполюсных машинах график зависимости $k_{n1}(z_1)$ для прямоугольных пазми располагается ниже графика для овальных пазми, в машинах с числом полюсов $2p = 6$ и выше график для прямоугольных пазми располагается выше графика для овальных пазми. График зависимости $k_{n2}(z_2)$ для прямоугольных пазми располагается ниже соответствующего графика для овальных пазми во всем диапазоне изменения числа полюсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

M. A. Vaganov, Yu. A. Grubman, V. V. Demidova
 Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

TO THE QUESTION ABOUT THE AREA OF THE STATOR AND ROTOR SLOTS OF ASYNCHRONOUS COMMON INDUSTRIAL MOTORS

The influence of the number of poles, the number of teeth and the values of the magnetic induction of an induction motor on the area of oval and rectangular grooves is analyzed. The change in the values of the set of magnetic inductions does not affect on the area of the slots, with the number of grooves increasing, the total area of the slots increases, the character of the dependence is nonlinear. With an increase in the number of poles, the area of the oval grooves of the stator and rotor decreases, the area of the rectangular stator slots decreases with the transition from bipolar machines to four-pole machines, and then increases, the area of the straight-angle rotor slots decreases to eight-pole machines, increases with further increase.

The factor of proportionality of the slot area, the relative diameter of the stator core, the magnetic induction in the air gap, rectangular and oval slots of the stator, the number of poles, the number of slots, the functional multiplier

УДК 621.313

М. А. Ваганов, И. И. Скобеев
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

КПД и коэффициент мощности синхронного реактивного двигателя

Рассматривается электрический КПД обмотки статора синхронного реактивного двигателя без учета магнитных потерь в нем, а также его коэффициент мощности. Выполнен анализ выражения электромагнитного момента двигателя с целью обеспечения оптимальной поперечной геометрии относительно этого момента.

Синхронный реактивный двигатель, КПД, коэффициент мощности, потребляемая мощность, электромагнитная мощность, электромагнитный момент, оптимальная поперечная геометрия

В [1] на основании векторной диаграммы синхронного двигателя (СРД) было получено выражение для потребляемого им из сети фазного тока обмотки статора и затем с использованием энергетической диаграммы составлены выражения для потребляемой из сети активной мощности P_1 и электромагнитной мощности $P_{эм}$. При этом активная мощность $P_1 = k_p F_{P\theta}$, где коэффициент пропорциональности по мощности k_p и функция потребляемой активной мощности $F_{P\theta}$ определяются следующими выражениями соответственно:

$$k_p = m_1 \frac{U_1^2}{r_1}, F_{P\theta} = \frac{2 + (x_{d*} - x_{q*}) \sin 2\theta}{2(1 + x_{d*} x_{q*})}. \quad (1)$$

Электромагнитная мощность СРД определяется выражением из [1] $P_{эм} = k_p F_{M\theta}$. Коэффициенты пропорциональности k_p для потребляемой и электромагнитной мощностей одинаковы. Функция электромагнитной мощности

$$F_{M\theta} = \frac{x_{d*} - x_{q*}}{2(1 + x_{d*} x_{q*})^2} \times \\ \times \left[(x_{q*} - x_{d*}) + (x_{d*} x_{q*} - 1) \sin 2\theta + \right. \\ \left. + (x_{d*} + x_{q*}) \cos 2\theta \right]. \quad (2)$$

В (1) и (2) $x_{d*} = x_d / \eta$ и $x_{q*} = x_q / \eta$ представляют собой относительные индуктивные со-