

О ВЛИЯНИИ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЧИСЛАМИ ПАЗОВ СТАТОРА И РОТОРА НА РАВНОМЕРНОСТЬ ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ МИКРОДВИГАТЕЛЕЙ

В. Б. Анненков, А. С. Куракин, Н. В. Рыбин

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Одной из основных проблем, возникающих при создании асинхронных микродвигателей, является выбор соотношения между числами пазов статора Z_1 и ротора Z_2 . От этого фактора во многом зависит гармонический состав магнитного поля воздушного зазора, определяющий общий уровень переменных сил, действующих в электродвигателе. Эти силы затрудняют запуск машин, а также обуславливают их шум и вибрации. Вопросам выбора соотношения между Z_1 и Z_2 с точки зрения малозумности, отсутствия вибраций и провалов в механической характеристике посвящено большое количество работ. Однако развитие новых направлений техники вынуждает вновь обратиться к рассмотрению соотношения между числами пазов статора и ротора, в свете требований высокой равномерности вращения роторов.

Как показывают исследования, кривая изменения мгновенной скорости вращения роторов микромашин носит характер вынужденных колебаний, поэтому поиск причин возникновения вынуждающих сил является одним из основных вопросов при изучении физики процесса колебаний роторов. При этом естественным является поиск причин таких колебаний в общем уровне переменных сил, действующих в электрической машине. Этим объясняется распространенное в настоящее время мнение об одной и той же природе шумов, вибраций и колебаний мгновенной скорости вращения роторов электромашин. Если теория влияния соотношения между числами пазов Z_1 и Z_2 на шумы и вибрации подтверждена многочисленными экспериментальными доказательствами, то работ по влиянию этого соотношения на равномерность вращения роторов асинхронных машин опубликовано не было. Это обстоятельство ставит проведение таких исследований в ряд актуальных задач.

При проведении экспериментальных исследований равномерность вращения роторов оценивалась по величине нестабильности их мгновенной скорости, равной [1]

$$N = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{2n_0},$$

где n_{\max} , n_{\min} , n_0 — соответственно максимальное, минимальное и среднее значения скорости вращения ротора при ее колебаниях.

Величина N измерялась частотно-инерционным методом, позволяющим преобразовывать колебания мгновенной скорости вращения валов

в электрический сигнал. Форма и величина этого сигнала полностью повторяют характер колебаний ротора.

Для экспериментальных исследований были использованы асинхронные двигатели мощностью 30 вт, имеющие статор с $Z_1=24$. В каждый из статоров укладывалась трехфазная обмотка, фазы которой соединены в звезду. Обмотки статоров отличались числом пар полюсов и конструктивно были выполнены таким образом, что позволяли изменять число пазов q на полюс и фазу без разборки двигателя. В каждый из статоров мог быть вставлен один из роторов с $Z_2=0, 11, 14, 17, 31$. Роторы имели закрытые пазы, что позволяет исключить влияние на их равномерность вращения высших гармонических полей, обусловленных зубчатостью ротора. Таким образом, выбранный метод проведения исследований позволяет изменять как обмоточные поля статора, так и поля реакции ротора на спектр полей статора. Удельный вес высших гармонических н. с. статора оценивался коэффициентом гармоник, равным

$$k_r = \frac{\sqrt{\sum_v F_v^2 - F_1^2}}{F_1} \cdot 100 \%,$$

где

- F_1 — действующее значение первой гармоники,
- $\sum F_v$ — действующее значение суммы v -ых гармоник н. с. статорной обмотки,
- v — порядковый номер высших гармоник н. с.

Величина k_r подсчитывалась с учетом высших гармоник до 59 включительно, поскольку амплитуда остальных гармоник весьма мала по сравнению с основной волной н. с.

Опуская из рассмотрения широко известные методы определения порядкового номера и величины отдельных гармоник статора и ротора, перейдем непосредственно к результатам эксперимента. Как показывают исследования, форма кривой нестабильности мгновенной скорости вращения роторов асинхронных микродвигателей отличается от синусоиды. Ее гармонический состав зависит от соотношения между числами пазов статора и ротора, а также от удельного веса высших гармонических н. с. статорной обмотки. При проведении исследований кривая колебаний ротора с помощью анализатора гармоник раскладывалась в тригонометрический ряд. В табл. 1—6 представлены результаты такого анализа. Частота высших гармонических составляющих кривой колебаний скорости обозначена через f_k , ее амплитуда — через N_k , амплитуда результирующей кривой — через $N_{кр}$.

Т а б л и ц а 1

	$p=2$	$q=1$	$y=\tau$			$k_r=28,5\%$
f_k [Гц]	$z_2=0$	$z_2=11$	$z_2=14$	$z_2=17$	$z_2=31$	
$N_k \cdot 10^{-4}$						
25	2,2	1,2	0,14	9	9	
50	—	0,5	—	3,2	—	
75	—	0,7	0,8	7	1,4	
90	0,7	1,4	0,8	—	1,6	
100	1,8	3,2	3	2,4	14	
200	—	0,5	1,4	0,32	1,4	
$N_{кр} \cdot 10^{-4}$	5,8	39,2	5,9	23,5	29,2	

Таблица 2

	p=2	q=2	y=τ	k _r =17,34%	
i _K [Гц]					
N _{KP} · 10 ⁻⁴	Z ₂ =0	Z ₂ =11	Z ₂ =14	Z ₂ =17	Z ₂ =31
25	2,8	1,1	2	2,2	7
50	1	0,3	1,6	4,2	—
90	0,4	1,4	0,2	—	0,4
100	0,39	28	1,6	0,8	3
N _{KP} · 10 ⁻⁴	5,1	31,8	5,4	7,2	10,4

Таблица 3

	p=2	q=2	y=5/6τ		
i _K [Гц]					
N _{KP} · 10 ⁻⁴	Z ₂ =0	Z ₂ =11	Z ₂ =14	Z ₂ =17	Z ₂ =31
25	2	16	1,8	7	11
36	—	0,6	0,8	0,2	—
50	—	—	0,11	0,4	—
75	—	0,9	0,5	0,5	—
100	2	0,3	1,2	0,1	3
N _{KP} · 10 ⁻⁴	4,8	13,7	5,1	8,3	14

Таблица 4

	p=2	q=2	y=2/3τ		
i _K [Гц]					
N _{KP} · 10 ⁻⁴	Z ₂ =0	Z ₂ =11	Z ₂ =14	Z ₂ =17	Z ₂ =31
25	1,6	15	2,8	8	11
32	0,6	1,8	—	—	—
50	—	—	0,18	0,6	—
100	0,12	0,24	1,14	1,6	1,7
N _{KP} · 10 ⁻⁴	2,7	17,5	4,8	9,2	13,7

Таблица 5

	p=1	q=2	y=τ	k _r =13,3%	
i _K [Гц]					
N _{KP} · 10 ⁻⁴	Z ₂ =0	Z ₂ =11	Z ₂ =14	Z ₂ =17	Z ₂ =31
50	1	0,6	0,8	0,4	1,8
100	1	1,8	0,6	0,7	1
150	0,04	0,4	0,25	0,3	0,1
200	—	0,5	0,2	0,2	0,2
N _{KP} · 10 ⁻⁴	2,1	3,7	2,1	2	3,4

Таблица 6

	$p=1$	$q=4$	$y=3/4\tau$	$k_r=6\%$		
f_r [Гц]		$Z_2=0$	$Z_2=11$	$Z_2=14$	$Z_2=17$	$Z_2=31$
$N_R \cdot 10^{-4}$						
50	0,9		0,25	0,8	2,0	
100	1	1,2	0,45	0,75	0,4	
150	0,8	1,8	—	—	—	
200	—	0,1	0,2	0,18	—	
$N_R \cdot 10^{-4}$	3,1	3,8	0,9	2,15	2,4	

Выводы

1. Соотношение между числами пазов статора и ротора асинхронных электродвигателей оказывает существенное влияние на равномерность вращения роторов. За счет благоприятного выбора этого соотношения и обмоточных данных статорной обмотки можно повысить равномерность вращения ротора более чем в 10 раз.

2. Основное влияние на степень равномерности вращения роторов асинхронных микродвигателей оказывает небольшое число гармоник качений.

3. Изменение гармонического состава поля статора при $Z_2=0$ не оказывает существенного влияния на равномерность вращения ротора; несмотря на улучшение динамических свойств двигателя за счет двукратного увеличения скорости.

4. При данном соотношении между Z_1 и Z_2 улучшение гармонического состава н. с. статорной обмотки уменьшает как общий уровень неравномерности вращения ротора, так и величину отдельных гармоник качений. Количество высших гармоник в кривой качений также уменьшается.

5. С точки зрения получения высоких показателей равномерности вращения ротора и оптимальных характеристик электродвигателя наиболее благоприятны следующие числа пазов ротора при $Z_1=24$: 14, 17, 31.

6. Наиболее неблагоприятно с позиций равномерности вращения при $Z_1=24$ число пазов ротора $Z_2=11$.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Куракин, В. Б. Анненков. Равномерность вращения синхронных микродвигателей. «Электротехника», 1967, № 2.