

ційно-вихровий характер наведеного електричного поля, який обумовлює протікання струму в тангенційному напрямку за рахунок відповідної зміни розподілу витоків наведеного електричного поля при відсутності тангенційної складової вектора напруженості наведеного електричного поля.

1. Антощенко А.И. Обобщенный закон электромагнитной индукции. // Техн. электродинамика. — 1993. — №5. — С. 43—47.

2. Антощенко А.И., Цыганкова А.А. Электромагнитное поле и усилия в проводящем диске моментомера с осевым воздушным зазором. // Техн. электродинамика. Тем. выпуск "Проблемы современной электротехники". — 2004. — ч. 7. — С. 16—19.

3. Афонин А.А. Аксиально-радиальная конфигурация электрических машин. // Техн. электродинамика. — 2001. — №3. — С. 51—55.

4. Каплянский А.Е., Лысенко А.П., Полотовский Л.С. Теоретические основы электротехники. — М.: Высшая школа, 1972. — 448 с.

5. Кори Г. и Кори Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. (Перевод с английского) — М.: Наука, 1970. — 720 с.

6. Потапов Л.А., Юферов Ф.М. Измерение вращающих моментов и скоростей вращения микроэлектродвигателей. — М.: Энергия, 1974. — 128 с.

7. Титко А.И. Электромагнитное экранирование незамкнутыми структурами в электрических машинах. — К.: Наук. думка, 1994. — 301 с.

8. Химюк И.В. Расчет электромагнитных полей в многослойных средах с использованием рекуррентных соотношений // Дисс. на соиск. уч. степ. канд. наук. — К., 1984. — 197 с.

9. Цыганкова Г.А. Дослідження розподілу магнітного поля в робочій зоні дископодібного електромагнітного гальма. // Вісник КДПУ, вип. 3/2007(44), част. 2. — С. 70—72.

10. Цыганкова Г.А. Особливості визначення моменту електродинамічного гальма з феромагнітним диском. // Техн. электродинамика. — 2008. — №5. — С. 51—55.

Надійшла 23.01.2009

УДК 621.313.333.2.045

Р.Б.ГАВРИЛЮК, канд.техн.наук (Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу, Івано-Франківськ)

Структурне проектування симетричних трифазних двошарових схем обмоток з перемиканням кількості пар полюсів у співвідношенні 4:5

Розглянуто характеристики всіх можливих варіантів симетричних трифазних двошарових схем обмоток асинхронних електродвигунів із співвідношенням кількості пар полюсів 4:5 та кількістю пазів $z = 60$.

Рассмотрены характеристики всех возможных вариантов симметричных трехфазных двухскоростных схем обмоток асинхронных электродвигателей с соотношением чисел пар полюсов 4:5 и числом пазов $z = 60$.

Перша схема обмотки з перемиканням кількості пар полюсів у співвідношенні 1:2 запропонована в позаминулому столітті Даландером [9]. Відтоді теорію симетричних схем обмоток з перемиканням кількості пар полюсів невпинно вдосконалюють та пропонують інші схеми, що одержують на підставі різних теоретичних підходів, наприклад, [4,5,6,10,11]. Давно назрівала необхідність створення єдиної теорії проектування всіх можливих схем, основи якої подано в [1,2,3]. Наприклад, схеми обмоток з перемиканням кількості пар полюсів у співвідношенні 4:5, створені на підставі теорії полюсно-амплітудного моделювання (ПАМ) [10,11], використовують у двигунах для приводів гідравлічних pomp [8], що різко збільшує коефіцієнт корис-

ної дії установок та зменшує потужність споживання електроенергії майже у два рази, але основним недоліком схем стали великі амплітуди шкідливих гармонік. У цій статті вперше на підставі єдиної теорії створено та проаналізовано всі теоретично можливі варіанти схем обмоток з перемиканням кількості пар полюсів у співвідношенні 4:5 та кількості пазів $z = 60$, що уможливило усунення основного недоліку схем, запропонованих за методом ПАМ, а саме — великих значень амплітуд шкідливих гармонік.

Надалі ми розглянемо пошук всіх можливих варіантів симетричних схем обмоток з реверсуванням половини котушок в кожній фазі обмотки, тобто за відомими схемами № 1 (Δ/YY), № 2 (YY/Δ),

© Гаврилюк Р.Б., 2009

№ 3 (Y/YY), № 4 (YY/Y) і № 5 (Y/Y). Підставою для проектування схем обмоток та визначення їхньої кількості для $z = 60 \in [2, \text{табл. Д10}]$.

Пошук домінуючих схем обмоток (домінуючою вважаємо схему, яка хоча б за одним параметром краща від інших схем) проведемо за дванадцятьма параметрами (нижній індекс 1 або 2 вказує відповідно на першу ($p_1 = 4$) або другу ($p_2 = 5$) кількість пар полюсів):

— крок вкорочення обмотки у, критерій оптимальності — мінімум;

— обмотковий коефіцієнт K_{p1} , критерій оптимальності — максимум;

— коефіцієнт диференційного розсіювання τ_{d1} , критерій оптимальності — мінімум;

— коефіцієнт диференційного розсіювання для вищих гармонік τ_{dH1} , критерій оптимальності — мінімум;

— коефіцієнт ефективності використання схеми обмотки E_{p1} (відношення номінальної потужності двополісного двигуна для заданої кількості пар полюсів до потужності однополісного двигуна), критерій оптимальності — максимум;

— обмотковий коефіцієнт K_{p2} , критерій оптимальності — максимум;

— коефіцієнт диференційного розсіювання τ_{d2} , критерій оптимальності — мінімум;

— коефіцієнт диференційного розсіювання вищих гармонік τ_{dH2} , критерій оптимальності — мінімум;

— коефіцієнт ефективності використання схеми обмотки E_{p2} , критерій оптимальності — максимум;

— усереднений коефіцієнт ефективності використання схеми обмотки — $E_{p\Sigma} = \alpha E_{p1} + (1 - \alpha) E_{p2}$ ($0 \leq \alpha \leq 1$, у цій статті $\alpha = 0,5$), критерій оптимальності — максимум;

— сумарний коефіцієнт диференційного розсіювання $\tau_{d\Sigma} = \tau_{d1} + \tau_{d2}$, критерій оптимальності — мінімум;

— сумарний коефіцієнт диференційного розсіювання для вищих гармонік $\tau_{dH\Sigma} = \tau_{dH1} + \tau_{dH2}$, критерій оптимальності — мінімум.

Кожному з 12 перелічених вище параметрів присвоюють логічну змінну, якщо ця логічна змінна має значення — *true* (Т), то параметр враховують у пошуку домінуючих, в протилежному випадку (значення *false* (F)) — не враховують.

Надалі в процесі пошуку домінуючих схем, наведених у рядках 1—12 табл. 1, всім логічним змінним присвоєно значення Т. Розглянемо пошук тільки за двома критеріями.

Алгоритм побудови схеми обмотки з перемиканням кількості пар полюсів на підставі [2, табл. Д10] детально пояснено в [3].

З табл. Д10 [2] видно, що для m -фазної схеми обмотки в половині кожної фази $\epsilon n = 10$ елементів (котушок), кількість різних структур схеми шару обмотки $kw = 1070$, тобто існує тільки одна тисяча сімдесят теоретично можливих структур схем об-

Табл. 1

Загальні показники			Кількість пар полюсів $p_1 = 4$								Кількість пар полюсів $p_2 = 5$								Загальні показники				
№	NC	y	K_{p1}	τ_{d1}	τ_{dH1}	E_{p1}	N_H	F_H	N_B	F_B	K_{p2}	τ_{d2}	τ_{dH2}	E_{p2}	N_H	F_H	N_B	F_B	$E_{p\Sigma}$	$\tau_{d\Sigma}$	$\tau_{dH\Sigma}$	C	B_{p1}/B_{p2}
170	1066	5	0,685	4,63	4,63	0,625	1	0,00	20	10,11	0,646	4,98	4,65	0,677	1	5,73	7	5,60	0,651	9,60	9,28	2	0,871
194	1066	6	0,753	2,24	2,24	0,647	1	0,00	28	4,93	0,669	10,19	9,75	0,701	1	6,60	13	15,99	0,674	12,43	12,00	2	0,821
214	1070	5	0,561	14,49	14,49	0,572	1	0,00	16	25,00	0,683	2,84	2,84	0,715	1	0,00	25	5,36	0,644	17,34	17,34	5	0,975
215	1070	7	0,644	3,76	3,76	0,661	1	0,00	16	10,22	0,683	2,84	2,84	0,715	1	0,00	25	5,36	0,688	6,60	6,60	2	0,980
217	1070	19	0,481	9,98	9,98	0,496	1	0,00	8	25,56	0,683	2,84	2,84	0,715	1	0,00	25	5,36	0,605	12,82	12,82	1	0,984
298	1069	7	0,715	4,59	4,13	0,709	2	6,77	14	8,46	0,733	4,60	4,53	0,768	1	2,56	13	6,60	0,738	9,19	8,67	2	0,947
300	1069	5	0,623	6,28	5,94	0,614	2	5,81	16	13,55	0,733	4,60	4,57	0,768	1	1,85	7	6,75	0,691	10,88	10,50	5	0,941
342	718	5	0,753	3,73	2,61	0,732	2	10,58	20	3,99	0,757	7,60	5,95	0,793	1	12,84	7	10,26	0,763	11,33	8,56	2	0,929
439	750	5	0,718	4,80	3,25	0,751	2	12,45	14	6,11	0,806	6,54	5,44	0,813	1	10,46	19	9,21	0,782	11,34	8,70	2	1,038
444	1055	6	0,647	7,04	6,75	0,677	2	5,33	14	15,19	0,811	4,30	4,20	0,846	1	3,23	25	7,91	0,762	11,34	10,95	5	1,003
453	904	5	0,691	4,58	3,75	0,681	2	9,13	8	7,26	0,813	5,67	3,33	0,852	1	15,28	17	6,16	0,767	10,25	7,08	5	0,941
456	645	5	0,692	4,41	3,76	0,685	2	8,04	14	7,50	0,818	6,64	3,41	0,856	1	17,97	19	4,60	0,770	11,05	7,17	5	0,945
513	580	5	0,685	4,77	3,74	0,716	2	10,14	14	8,64	0,855	4,98	3,80	0,895	1	10,85	7	8,79	0,806	9,75	7,55	5	0,999
485	750	6	0,788	5,27	3,49	0,807	2	13,33	14	10,59	0,835	5,31	3,85	0,874	1	12,06	13	8,38	0,841	10,58	7,34	2	0,978
557	386	7	0,753	7,60	5,23	0,756	2	15,40	14	15,15	0,903	5,18	3,68	0,945	1	12,27	7	6,97	0,851	12,78	8,90	5	0,959
511	580	7	0,786	6,40	5,01	0,823	2	11,82	14	13,75	0,855	6,85	4,60	0,891	1	15,02	13	8,97	0,857	13,26	9,60	2	1,005
562	111	6	0,754	5,84	5,77	0,766	2	2,70	14	14,27	0,914	7,44	4,05	0,957	1	18,41	7	9,83	0,862	13,28	9,82	5	0,971
523	377	6	0,793	3,92	3,60	0,830	2	5,66	14	8,97	0,862	9,67	5,09	0,899	1	21,39	13	11,28	0,865	13,58	8,69	2	1,005
532	108	7	0,824	13,07	3,90	0,835	2	30,28	14	11,46	0,863	5,81	5,16	0,904	1	8,11	7	11,06	0,869	18,88	9,06	2	0,968

моток. Номер схеми структури обмотки назвемо індексом NC . Побудуємо двошарові схеми обмоток зі зміною кроку вкорочення обмотки у в діапазоні $2 \div 29$, тобто розглянемо $29960 (1070 \cdot (29-1))$ можливих варіантів побудови схем обмоток.

Наведемо 12 параметрів схем обмоток: $u, K_{p1}, \tau_{d1}, \tau_{dH1}, E_{p1}, K_{p2}, \tau_{d2}, \tau_{dH2}, E_{p2}, E_{p\Sigma}, \tau_{d\Sigma}, \tau_{dH\Sigma}$, які вважаємо критеріями для пошуку домінант. Усі ці критерії наведено в табл. 1, де в кожному стовпчику затінено сірим кольором клітинки з екстремальними (мінімум або максимум в залежності від критерія) значеннями критеріїв. Окрім того в табл. 1 позначено: N_n — номер максимальної шкідливої гармоніки з порядком, нижчим від основної; F_{n1}, F_{n2} — відповідно максимальна амплітуда шкідливої гармоніки в % до амплітуди основної гармоніки для різних кількостей пар полюсів з порядком, нижчим від основної; N_b — номер максимальної шкідливої гармоніки з порядком, вищим від основної; F_{b1}, F_{b2} — максимальна амплітуда шкідливої гармоніки в % до амплітуди основної гармоніки з порядком, вищим від основної; $F_{\max\Sigma} = F_{n1} + F_{n2} + F_{b1} + F_{b2}$ — сума максимальних амплітуд шкідливих гармонік для обох кількостей пар полюсів; C — схема сполучення фаз: $C=1 (\Delta/Y/Y), C=2 (Y/Y/\Delta), C=3 (Y/Y/Y), C=4 (Y/Y/Y), C=5 (Y/Y)$; B_{p1}/B_{p2} — відношення індукцій у повітряному проміжку електричної машини у відповідних кількостях полюсів та заданій схемі сполучення фаз.

В табл. 2 представлено інформацію про розташування котушок в схемах обмоток та з'єднання котушок між собою в кожній половині фази. З'єднання половин фаз здійснено на підставі значення параметра C .

У результаті дослідження параметрів у 29960 варіантах схем одержано 578 домінантних схем і серед них різних структур схем — 181 (з 1070 досліджуваних).

На підставі аналізу значень параметрів домінантних схем з'ясовано, що в багатьох схемах існують шкідливі гармоніки нижчого та вищого порядків з великими значеннями відносних, у порівнянні з основними гармоніками, амплітуд. Отже, наприклад, з усієї множини схем відібрано 12 перших домінантних схем з найменшими значеннями суми амплітуд максимальних шкідливих гармонік (як нижчих, так і вищих від основної) для обох кількостей пар полюсів. Параметри знайдених схем наведено в табл. 1 (12 перших рядків). Серед вибраних домінантних схем структур лише 9 (з 1070 досліджуваних). В ранзі домінантних схема з номером $NC=580$ зустрічається 1 раз. Скорочено запишемо це таким чином: $NC580(1)$. Отже ряд домінантних схем матиме вигляд: $NC580(1), NC645(1), NC718(1), NC750(1), NC904(1), NC1055(1), NC1066(2), NC1069(2), NC1070(2)$.

Для всіх критеріїв одержано екстремальні значення, які в табл. 1 затінено чорним кольором. Зверніть увагу, в табл. 1 порядкові номери розміщено в натуральному порядку, оскільки введено додаткові обмеження, які зазначені вище.

Дані для побудови всіх повторно досліджуваних розгорнутих схем обмоток одержують на підставі таблиць 1 та 2, а методику їхньої побудови подано у [3].

На рис. 1 представлено залежність сумарного коефіцієнта диференційного розсіяння $\tau_{d\Sigma}$ від усередненого коефіцієнта ефективності використання схеми обмотки $E_{p\Sigma}$ за умови, що пошук домінант проведено тільки за двома ($E_{p\Sigma}$ та $\tau_{d\Sigma}$) критеріями.

Знайдено тільки дев'ять домінантних схем, з них в рядках 1—12 табл. 1 лише дві схеми з номерами рядків 215 та 298. Інші домінантні схеми не потрапили в число перших 12 рядків за сумами максимальних амплітуд нижчих та вищих шкідливих гармонік. Це схеми з порядковими номерами рядків: 485, 557, 511, 562, 523 та 532, які в табл. 1 додатково подано в останніх шістьох рядках.

Діаграму взаємної залежності амплітуд максимальних шкідливих вищих гармонік для пар полюсів p_1 та p_2 показано на рис. 2.

Табл. 2

NC	Кількість груп котушок в схемі обмотки	Номери груп котушок в половині фази (знак мінус вказує на реверс)	Чергування кількості котушок в групі (повторення шість разів)
108	24	1, -3, 6, -8,	1, 4, 3, 2, ...
111	24	1, -3, 6, -8,	2, 3, 3, 2, ...
377	36	1, 3, -5, 10, -12, -14,	1, 1, 1, 3, 3, 1, ...
386	30	1, -4, 7, -10, 13,	1, 3, 1, 3, 2, ...
580	36	1, -3, -5, 8, -12, 16,	1, 3, 1, 1, 2, 2, ...
645	36	1, -3, -5, 8, -12, 16,	1, 3, 1, 2, 1, 2, ...
718	42	1, -4, -6, 10, -14, -16, 19,	1, 2, 3, 1, 1, 1, 1, ...
750	42	1, -4, -6, 10, -14, -16, 19,	1, 1, 3, 1, 1, 2, 1, ...
904	48	1, 3, -5, -7, 12, -16, -18, 22,	1, 1, 1, 3, 1, 1, 1, 1, ...
1055	54	1, -6, 13, -17, -20, 23, 25, -30, 36,	1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 1, ...
1066	60	1, -8, 14, 16, -20, -23, 27, 29, -35, 42,	1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, ...
1069	60	1, -7, 13, 15, -19, -22, 26, 28, -34, 40,	1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, ...
1070	60	1, -7, 13, 16, -19, -22, 25, 28, -34, 40,	1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, ...

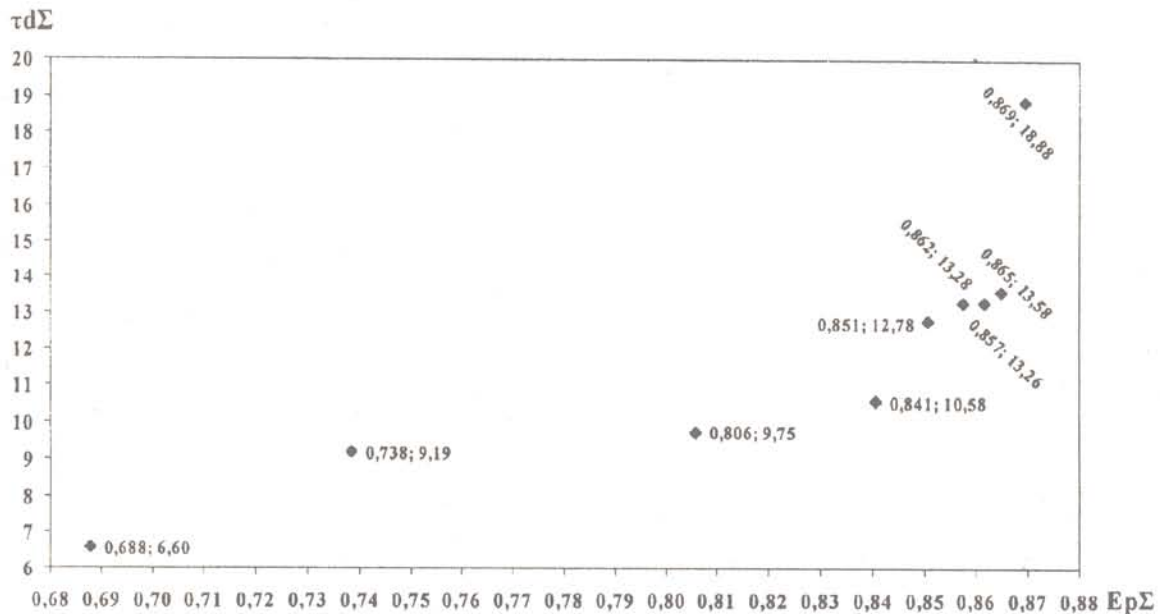


Рис. 1

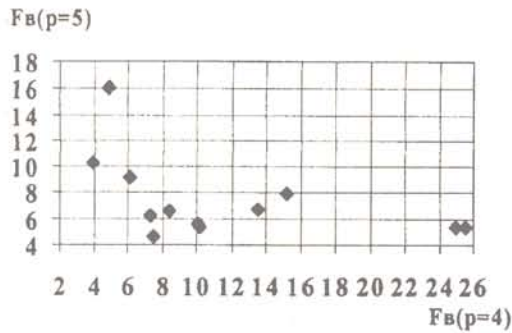


Рис. 2

На рис. 3 відтворено зв'язок між усередненими коефіцієнтами ефективностей та сумами максимальних нижчих та вищих шкідливих гармонік, які

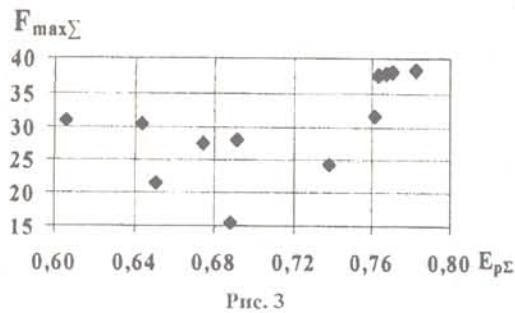


Рис. 3

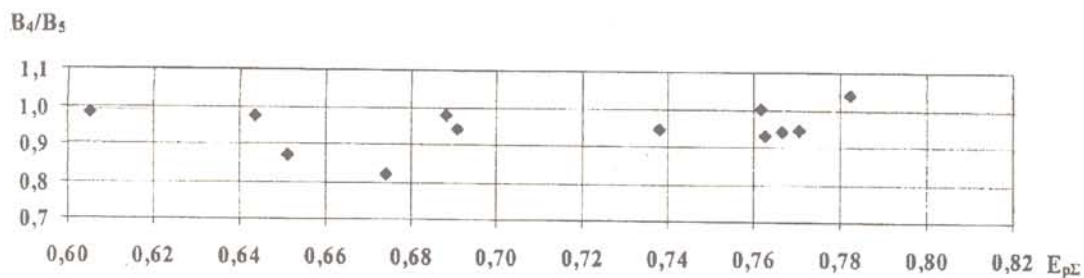


Рис. 4

існують в обох швидкостях обертання, що дозволяє встановити кількість домінуючих схем, які можуть забезпечити малі амплітуди шкідливих гармонік шару струму.

Можливі співвідношення магнітних індукцій для різних кількостей пар полюсів показано на рис. 4 (на рис. 2, 3 та 4 відображено тільки 12 перших рядків табл. 1).

Схема з порядковим номером 215 екстремальна за додатковим критерієм $\tau_{d\Sigma}/E_{p\Sigma} = 9,6$, за критерієм мінімальної суми максимальних шкідливих гармонік ($F_{\max\Sigma} = F_{н1} + F_{н2} + F_{в1} + F_{в2} = 0 + 10,22 + 0 + 5,36 = 15,58$) в обох кількостях пар полюсів (в табл. 1 номер цієї схеми позначено білим кольором) та критерієм $\tau_{d\Sigma} = 6,6$. Схема унікальна, оскільки екстремальні найважливіші параметри наявні саме у ній. На рис. 5 показано розгорнену схему, яка створена на підставі інформації рядка № 215 табл. 1: зауважимо, що на підставі значення $NC = 1070$ необхідно одержати дані з табл. 2. Зазначимо, що тільки у цій схемі, порівняно з усіма проаналізованими та створеними на підставі ПАМ, зовсім відсутні нижчі шкідливі гармоніки.

Теорія ПАМ, уможливило проектування схеми обмоток двошвидкісних електричних машин із заданим співвідношенням кількості пар полюсів,

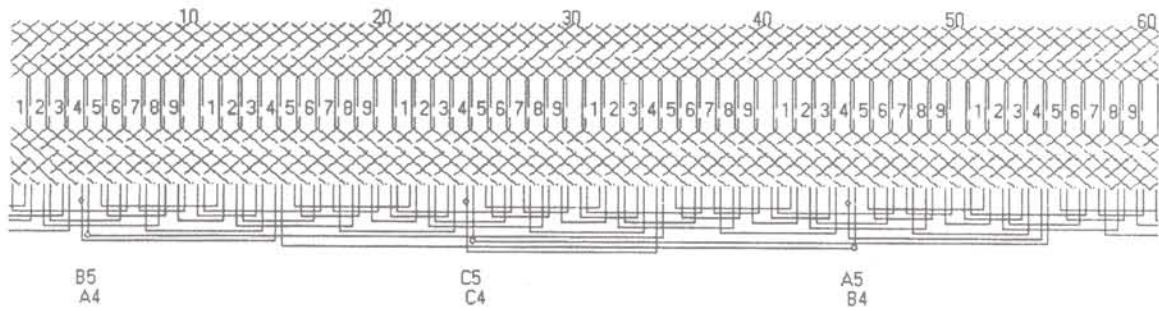


Рис. 5

наприклад, 4:5. Підставою для проектування може бути схема одношарової обмотки із кількістю пар полюсів $p_1 = 4$ або $p_2 = 5$.

Параметри схем обмоток, спроектованих за ПАМ [8, 10]:

— на підставі $p_1 = 4$: для $p_1 = 4$ ($K_{p1} = 0,951$; $\tau_{d1} = 1,76$; $N_H = 1$; $F_H = 0$; $N_B = 20$; $F_B = 3,54$ %; $g_{n1} = 0,95$), а для $p_2 = 5$ ($K_{p2} = 0,590$; $\tau_{d2} = 104,7$; $N_H = 1$; $F_H = 90$ %; $N_B = 11$; $F_B = 2,8$ %; $g_{n2} = 0,7$) та загальні ($y = 7$; $\tau_{d\Sigma} = 106,46$, $F_{\max\Sigma} = 96,34$ %), де g_n — коефіцієнт пазового розсіяння. Відносна амплітуда максимальної шкідливої гармоніки на обох швидкостях: на підставі $p_1 = 5$: для $p_1 = 4$ ($K_{p1} = 0,629$; $\tau_{d1} = 35,00$; $N_H = 2$; $F_H = 50,4$ %; $N_B = 14$; $F_B = 20,00$ %; $g_{n1} = 0,675$), а для $p_2 = 5$ ($K_{p2} = 0,933$; $\tau_{d2} = 2,35$; $N_H = 1$; $F_H = 0$; $N_B = 25$; $F_B = 1,44$ %; $g_{n2} = 0,87$) та загальні ($y = 7$; $\tau_{d\Sigma} = 37,35$, $F_{\max\Sigma} = 71,84$ %).

Відзначимо, що спроектовані за теорією ПАМ схеми обмоток були вилучені програмно з проекту як не домінуючі. Ці схеми обмоток характеризуються найкращими параметрами для кількості пар полюсів, на підставі яких вони спроектовані, та дуже поганими показниками для кількості пар полюсів, на які можна перемикаєти схему, наприклад, амплітуди максимальних шкідливих гармонік при перемиканні (90 %, 50,4 %), коефіцієнти диференційного розсіяння відповідно (104,7 та 35). Відповідні показники для схеми обмотки за № 215 (табл. 1) для амплітуд максимальних шкідливих гармонік — 10,22 % (тобто менші в 90/10,22 = 8,806 та 50,4/10,22 = 4,931 разів), а для коефіцієнтів диференційного розсіяння — 3,76 (отже менші в 27,85 та 4,93 разів). За цими показниками всі схеми обмоток (табл. 1) кращі від схем, створених на підставі ПАМ. У схемі за № 215 значно нижчі й коефіцієнти пазового розсіяння для усіх схем обмоток у порівнянні зі схемами, створеними за методикою проектування ПАМ, а саме: $g_{n1} = 0,55$ та $g_{n2} = 0,5$.

У сучасних методах проектування та застосування схем обмоток електричних машин [7] одним із найважливіших критеріїв є критерій мінімального значення коефіцієнта диференційного розсіяння. В російській серії R4 [7] виготовляють двошвидкісний асинхронний двигун із співвідношенням кількості пар полюсів 4:8 та кількістю пазів $z = 60$. Одне із чисел кількості пар полюсів, а саме 4,

співпадає у співвідношенні 4:5, а друга кількість пар полюсів 5-ї схеми (рис. 5) дуже близька до значення 4, що уможливило розширення асортименту серії двигунів R4 із застосуванням запропонованих в даній статті схем.

Висновки.

1. З наведеного вище аналізу показників в табл. 1 та 2 та дослідження графіків, представлених на рис. 1—4, можемо констатувати:

— коли деякі показники найкращі для однієї кількості пар полюсів, то для іншої кількості пар полюсів ці ж параметри можуть бути гіршими, це стосується, зокрема, коефіцієнтів ефективності, диференційного розсіяння та максимальних амплітуд шкідливих гармонік;

— вибір оптимальної схеми обмотки в значній мірі залежатиме від співвідношення часу роботи двигуна на кожній із швидкостей (у цьому випадку доцільно би вибирати оптимальне значення α для визначення усередненого коефіцієнта ефективності), необхідних номінальних потужностей чи моментів та вимоги забезпечення максимальної ощадності енергетичних ресурсів;

— існують схеми з мінімальними відносними значеннями амплітуд шкідливих гармонік за умови дещо зменшених значень коефіцієнтів ефективності відносно їхніх екстремальних величин, що можна було б перефразувати таким чином: за одночасне отримання понижених амплітуд шкідливих гармонік в обох кількостях пар полюсів необхідно "платити" зменшенням усередненого коефіцієнта використання.

2. Запропонований алгоритм проектування структур є фундаментальним та єдиним для пошуку всіх можливих варіантів створення одношвидкісних та двошвидкісних симетричних двошарових схем обмоток електричних машин змінного струму, оскільки результати його використання узагальнюють результати за всіма відомими в літературі методами проектування симетричних двошарових схем.

3. Наведені основні характеристики схем обмоток електричних машин змінного струму та їхні конструктивні параметри уможливають створення оптимальних двошвидкісних енергоощадних асинхронних двигунів для різних специфічних електроприводів з врахуванням їхніх особливостей.

4. В подальшому за допомогою математичного

моделювання в процесі проектування та експериментальних досліджень асинхронних двигунів необхідно виявити найефективніші схеми обмоток.

1. *Гаврилюк Р.Б.* Множество неэквивалентных симметричных токовых слоев машин переменного тока // *Электромеханика*. — 1989. — Т.7. — С. 28–35.

2. *Гаврилюк Р.Б.* Множини структур схем обмоток електричних машин змінного струму. Івано-Франківськ: Видав. центр Львівського нац. ун-ту. — 2003. — 396 с.

3. *Гаврилюк Р.Б.* Схеми симетричних трифазних двошарових обмоток з перемиканням кількості пар полюсів у співвідношенні 1:2 (кількість пар полюсів = 24) // *Промелектро*. — 2007. — №5. — С. 21–28.

4. *Дартау А.А.* Общая методика составления схем многофазных двухскоростных обмоток // *Электричество*. — 1970. — Т.3. — С. 43–47.

5. *Дегтев В.Г., Радимов И.Н.* Сдвиг модуляционной волны при построении двухскоростных обмоток методом полюсно-амплитудной модуляции // *Электромашиностроение и элект-*

трооборудование. — 1973. — Т.16. — С. 87–96.

6. *Захаров М.К.* Сравнительная оценка образования многоскоростных обмоток методом амплитудного и фазного модулирования // *Электричество*. — 1977. — Т.2. — С. 70–81.

7. *Попов В.И.* Трехфазные обмотки асинхронных машин серии RA: систематизация схем и оптимизация параметров // *Электричество*. — 2001. — №6. — С. 22–32.

8. *Такахаси Т.* Современные асинхронные двигатели с переключением числа полюсов: перевод № 3030. Свердловск, 1982. — 17 с.

9. *Dahlander R.* Drehstrommotoren mit variabler polzahl // *ETZ*. — 1897. — №18. — Pp. 257–259.

10. *Rawcliffe G. H.* Induction motor speed-changing by pole-amplitude modulation // *Proc. IEE*. — 1958. — №22. — Pp. 411–419.

11. *Rawcliffe G.H.* Speed changing induction motors: father developments for pole-amplitude modulation // *Proc. IEE*. — 1960. — №36. — С. 513–528.

Надійшла 18.01.2008

УДК 62-83-52:62.276.53

А.В.МАЛЯР, канд.техн.наук (Національний університет "Львівська політехніка", Львів)

Алгоритм розрахунку стаціонарних режимів електропривода штангових нафтовидобувних установок

Запропоновано алгоритм розрахунку періодичних залежностей електричних та механічних координат в стаціонарних режимах роботи асинхронного електропривода штангової нафтовидобувної установки методом розв'язування крайової задачі. При цьому враховується залежність моменту інерції та моменту навантаження установки від кута повороту кривошипа, а також насичення магнітопровода та витіснення струму в стержнях ротора приводного двигуна.

Предложен алгоритм расчета периодических зависимостей электрических и механических координат в стационарных режимах работы асинхронного электропривода штанговой нефтедобывающей установки методом решения краевой задачи. При этом учитывается зависимость момента инерции и момента нагрузки установки от угла поворота кривошипа, а также насыщения магнітопровода и вытеснения тока в стержнях ротора приводного двигателя.

Вступ. Видобування нафти здебільшого здійснюють штанговими нафтовидобувними установками (ШНВУ), в яких приводним двигуном є асинхронний двигун (АД) з короткозамкненим ротором [1,2], причому для забезпечення успішного запуску використовують двигуни з підвищеним пусковим моментом, які мають глибокі пази або по-

двійну клітку на роторі. Прикладений до валу двигуна момент навантаження має циклічно-змінний характер, що зумовлено особливістю роботи верстата-гойдалки ШНВУ, який приводить у рух глибинну плунжерну помпу. Крім того, момент інерції установки залежить як від кута повороту кривошипа, так і швидкості його обертання. Отже, для

© Маляр А.В., 2009