

УДК 621.313.2

Л.П. ГАЛАЙКО, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПІ", Харків
Н.О. ГАЄВСЬКА, магістрант, НТУ "ХПІ", Харків

ВИБІР ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА ДЛЯ РУДНИЧНОГО ЕЛЕКТРОВОЗУ

Computations of a switched reluctance motor pretended for miner electric locomotives are resulted using of the orthogonal central-composite plan (OCCP) of the second order and method of multi criterion optimization taking into account weight factors. Electromagnetic computations are carried out and the motor construction is chosen.

В статті приведені результати розрахунків вентильно-індукторного двигателя для рудничного електровоза з використанням ортогонального центрально-композиційного плану (ОЦКП) другого порядку і методом оптимізаційних розрахунків для многокритеріальних задач з урахуванням коефіцієнтів ваги. Проведені електромагнітні розрахунки і вибрана конструкція двигателя.

В статті подані результати розрахунків вентильно-індукторного двигуна для рудничного електровоза із застосуванням ортогонального центрально-композиційного плану (ОЦКП) другого порядку та методом оптимізаційних розрахунків для багатокритеріальних задач з урахуванням коефіцієнтів ваги. Проведені електромагнітні розрахунки та обрано конструкцію двигуна.

Вступ. Вентильно-індукторні двигуни (ВІД) є простими і технологічними перетворювачами енергії, завдяки чому знаходять вживання в різних сферах виробництва. У останнє десятиліття накопичений певний досвід проектування ВІД і в літературі присутні різні рекомендації по вибору геометричних розмірів таких електричних машин. Проте ці рекомендації часто носять суперечливий характер. Наприклад, при виборі головних розмірів, проектувальники стикаються з тим, що рекомендований діапазон зміни питомого моменту, за яким вибираються головні розміри, досить широкий [1]. Одним зі шляхів вирішення даної проблеми є проведення оптимізаційних розрахунків і надання конкретніших рекомендацій по проектуванню ВІД.

Постановка задачі. Проектування будь-якої електричної машини починається в першу чергу з вибору її головних розмірів: зовнішнього

діаметру ротора D_r і його довжини l . Вибір основних розмірів будь-якої електричної машини в загальному випадку є багатокритеріальним завданням. В якості критеріїв оцінки виступають наступні параметри: максимальний струм I_{\max} , коефіцієнт корисної дії (ККД) η , коефіцієнт пульсації моменту K_r та енергетичний коефіцієнт K_p . В якості чинників були вибрані зовнішній діаметр сердечника ротора (x_1) і довжина пакету сердечника (x_2). Для кожного з чинників вибиралися 3 рівні, на яких вони варіювалися в експерименті. В якості інтервалу варіювання вибрана величина, яка складає 10% від величини нульового рівня. За нульовий рівень обрано значення чинників базового двигуна.

При дослідженні застосовувалися 2 методи:

1) ортогональний центрально-композиційний план другого порядку [3];

2) метод оптимізаційних розрахунків для багатокритеріальних задач з урахуванням коефіцієнтів вагомості [4].

На першому етапі було обрано план експерименту ОЦКП другого порядку, який приведено на рисунку.

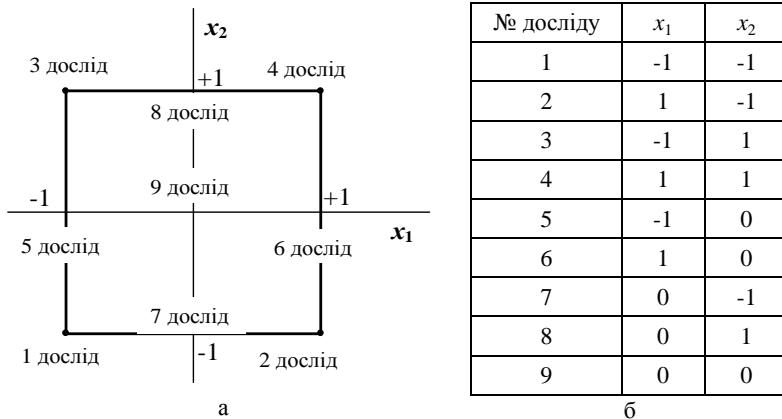


Рисунок. План експерименту: а – графічна інтерпретація, б – таблиця кодованих чинників.

Величини вказаних вище критеріїв визначалися на базі результатів розрахунку магнітного поля ВІД методом кінцевих елементів та розрахунками в програмі на алгоритмічній мові Pascal, описаній в [2]. Для цього модель ВІД, що графічно реалізована в програмі КОМПАС V11, імпортована в середовище програми FEMM 4 [5]. Спочатку був проведений розрахунок магнітних характеристик базового двигуна з зовнішнім діаметром

ротора $D_r = 250$ мм та довжиною магнітопроводу $l = 250$ мм. Розрахунок проводився при змінненні положення ротора від узгодженого ($\theta = 0^\circ$) до повністю неузгодженого положення ($\theta = 30^\circ$). Крок зміщення ротора склав $6,5^\circ$. Після чого була проведена серія аналогічних розрахунків, в ході яких змінювались вхідні величини D_r та l , а саме: D_r було зменшено та збільшено до 225 мм та 275 мм відповідно, а l було зменшено та збільшено до 225 мм та 275 мм відповідно.

На подальшому етапі дослідження отримані характеристики в чисельному вигляді завантажувались в програму. Додатковими даними для програми виступали активний опір котушки, який змінювався разом зі зміною її геометричних розмірів внаслідок вибору різних варіантів діаметру ротора, що призвело до зміни ширини полюсів, та маса активних частин машини. Результати обчислень були зведені до табл. 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків

Дослід	x_1/x_2	θ_{opt} , град	θ_{diff} , град	I_{ef} , А	$P_{магн}$, Вт	P_{el} , Вт	M , Н·м	I_{max} , А	η , %	K_r , в.о	K_p , в.о
1	-1/-1	28	11	75,4	136	658	216,8	173	94	1,26	0,75
2	1/-1	28,4	11,6	66,1	154,3	539	216	142,7	94,6	1,23	0,82
3	-1/1	29,6	11,4	67,4	124,2	614	218	138,3	94,3	1,16	0,79
4	1/1	28,2	10,6	64,5	167	513,2	216,7	137,6	94,7	1,18	0,82
5	-1/0	29	11,8	71,4	125	639,5	216,9	145	94	1,2	0,77
6	1/0	29,2	11,6	64	150	545,4	217,7	141,3	94,6	1,19	0,83
7	0/-1	28	11	70,8	167	587,5	217,2	144,7	94	1,21	0,78
8	0/1	29,2	11,4	65	152,6	579,4	218	138,6	94,4	1,21	0,81
9	0/0	28,6	10,2	66	169	553	218,3	136	94,5	1,16	0,8

Аналіз результатів. Визначення оптимальних значень чинників за ОЦКП другого порядку здійснюється за рівнянням:

$$\varphi(x_1, x_2) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_1 \cdot x_2 + b_4 \cdot x_1^2 + b_5 \cdot x_2^2.$$

Для визначення оптимальних значень чинників за кожним з критеріїв складається квадратичне рівняння. За відомими методами математичного аналізу знаходиться максимум або мінімум функції та значення відповідних чинників.

З наведених вище критеріїв I_{max} та K_r повинні бути мінімальними, а η та K_p повинні бути максимальними.

Результати розрахунку зведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку за ОЦКП другого порядку

Критерії		I_{\max}	η	K_r	K_p
Кодовані чинники	x_1	0,0232	-0,976	-0,173	-1,54
	x_2	0,74	2,73	0,54	2,7
Оптимальні чинники	D_r , мм	250,6	225,6	245,7	211,5
	l , мм	268,5	318,2	263,6	317,5
Розрахункова похибка		0,035	0,0019	0,0275	0,01

За методикою оптимізаційних розрахунків з урахуванням коефіцієнтів вагомості за дев'ятьма експериментами знаходяться найбільші значення η та K_p та найменші значення I_{\max} та K_r . Далі обчислюються по модулю відносні значення відхилення кожного критерію. Формування остаточної оцінки вибору здійснюється за допомогою перемноження відхилень вектор-критерію $[\Sigma^*]$ на вектор коефіцієнтів вагомості $[K]$

$$B_{\Sigma} = [K] \times [\Sigma^*].$$

Результати обчислень зведені у таблиці 3, де виділені оптимальні варіанти.

Таблиця 3 – Результати оптимізаційного розрахунку

x_1/x_2	Коефіцієнти вагомості				
	$k_{I_{\max}} = 0,25;$ $k_{\eta} = 0,25;$ $k_{K_r} = 0,25;$ $k_{K_p} = 0,25$	$k_{I_{\max}} = 0,55;$ $k_{\eta} = 0,15;$ $k_{K_r} = 0,15;$ $k_{K_p} = 0,15$	$k_{I_{\max}} = 0,15;$ $k_{\eta} = 0,55;$ $k_{K_r} = 0,15;$ $k_{K_p} = 0,15$	$k_{I_{\max}} = 0,15;$ $k_{\eta} = 0,15;$ $k_{K_r} = 0,55;$ $k_{K_p} = 0,15$	$k_{I_{\max}} = 0,15;$ $k_{\eta} = 0,15;$ $k_{K_r} = 0,15;$ $k_{K_p} = 0,55$
-1/-1	0,1155	0,1781	0,0723	0,1038	0,1079
1/-1	0,0307	0,0381	0,0188	0,0425	0,0232
-1/1	0,0173	0,0172	0,0121	0,0104	0,0297
1/1	0,0103	0,0109	0,0062	0,0131	0,0110
-1/0	0,0451	0,0535	0,0300	0,0408	0,0560
1/0	0,0165	0,0255	0,0103	0,0202	0,0099
0/-1	0,0437	0,0518	0,0292	0,0434	0,0503
0/1	0,0224	0,0211	0,0147	0,0307	0,0231
0/0	0,0096	0,0057	0,0066	0,0057	0,0202

Висновки. В залежності від технічних вимог до двигуна при виборі головних розмірів можуть застосовуватися однокритеріальні або багатокритеріальні оптимізаційні методи. Використовуючи ОЦКП другого порядку можна визначити конкретні значення зовнішнього

діаметру ротора та його довжини, що є оптимальними для кожного з критеріїв. Аналіз результатів розрахунків при застосуванні багатокри-теріального методу показав, що при однакових коефіцієнтах вагомості та для випадку, коли пріоритетними є критерії I_{\max} та K_r , найкращим є базовий двигун. По критерію максимуму ККД найкращим є варіант з $D_r = 275$ мм та $l = 275$ мм. По критерію максимуму енергетичного ко-ефіцієнту K_p найкращим є варіант з $D_r = 275$ мм та $l = 250$ мм.

Список літератури: 1. *Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А.* Особенности проектирования индукторной машины для вентильно-индукторного двигателя // Известие ВУЗов. Электромеханика. – 2008. – № 1. 2. *Галайко Л.П.* Расчет тока и момента вентильно-индукторного двигателя различными методами // Вестник Национального технического университета "ХПИ". – 2001. – № 17. 3. *Адлер Ю.П., Маркова Е.В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с. 4. *Петрушин В.С.* Асинхронные электро-двигатели в регулируемом электроприводе: Уч. пособие. – Одесса: Наука и техника. – 2006. – С. 233-237. 5. *Meeker D.* Finite Element Method Magnetics. Version 4.0. User's Manual, January 26, 2004 // <http://femm.berlios.de>. 2003.

*Поступила в редколлегию 06.02.2012
Рецензент д.т.н., проф. Милых В.И.*