

ІННОВАЦІЙНИЙ СИНТЕЗ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОГО ВАРІАНТА СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОДВИГУНА З КОТКИМ РОТОРОМ ЗА ЙОГО ГЕНЕТИЧНОЮ ПРОГРАМОЮ

Шинкаренко В.Ф., д.т.н., проф., Озімінський В.О., студент
НТУУ «КПІ», кафедра електромеханіки

Вступ. Технічна еволюція двигунів з котким ротором (ДКР) триває вже на протязі 170 років. Завдяки своїм унікальним властивостям двигуни знайшли широке практичне використання в суміщених системах типу «Двигун-насос», «Двигун-компресор», «Мотор-колесо», а також в системах тихохідного електроприводу механізмів та пристроїв, експлуатація яких пов'язана з електромагнітною редуцією швидкості і реалізацією високих пускових моментів. За результатами спільних структурно-системних досліджень (НТУУ «КПІ» і НТУ «ХПІ») у 2012 р. вперше було визначено генетичну макропрограму, кількість видів і рівень структурної еволюції функціонального класу ДКР [1]. Результати розшифрування генетичної макропрограми ДКР відкрили можливість постановки задач структурного передбачення і спрямованого синтезу нових структур двигунів за заданою функцією цілі. Тому розв'язання задач спрямованого синтезу конкурентоспроможних структур ДКР на основі розшифрування їх генетичних програм є актуальним науково-технічним завданням структурної електромеханіки.

Мета роботи. Принциповою особливістю двигунів з ротором, що котиться, яка відрізняє їх від інших електричних машин, є ексцентричне розташування ротора в розточці статора і наявність механічного контакту між опорними поверхнями ротора і статора. Редукований обертовий момент в таких двигунах створюється за рахунок сил одностороннього магнітного тяжіння, які діють на ротор. Особливістю робочих режимів ДКР є виникнення значних вібрацій двигуна, які є наслідком динамічного дисбалансу ротора, що здійснює ексцентричний рух відносно осі симетрії статора. Динамічні сили від дисбалансу належать до самих низькочастотних сил в двигуні і, тому є небезпечними з точки зору механічної міцності його конструктивних елементів і, в першу чергу, міцності підшипникових вузлів ротора. Тому метою роботи є спрямований синтез конкурентоспроможного варіанта динамічно збалансованої структури ДКР з використанням результатів аналізу його генетичної програми.

Матеріали і результати досліджень. Виходячи з поставленої мети визначимо цільову функцію пошуку F_{TP} . Цільова функція пошуку визначається з врахуванням відповідної сукупності вимог і обмежень. Основними вимогами до шуканої структури S_{TP} є наступні:

- 1) циліндрична активна поверхня статора і ротора ($CL_{1,2}$);
- 2) ексцентричне розташування ротора відносно осі симетрії статора ($\Delta_y \neq 0$);
- 3) забезпечення гарантованого механічного контакту між опорними поверхнями ротора і статора ($K_{1,2}$);
- 4) реалізація двостепеневого обертального руху ротора ($\omega_2 \times \omega'_2$);
- 5) мінімізація динамічного дисбалансу ротора (D_{min}).

З врахуванням зазначених часткових вимог, інтегральна функція пошуку в багатовимірному пошуковому просторі R^n набуває вигляду інтегрального вектора:

$$F_{TP} = [CL_{1,2}; (\Delta y \neq 0); K_{1,2}; (\omega_2 \times \omega'_2); D_{min}] \in R^n \quad (1)$$

Особливість методології генетичного синтезу полягає в тому, що пошукові процедури здійснюються на рівні елементарних електромагнітних структур (електромагнітних хромосом), що суттєво спрощує процедуру пошуку і гарантує повноту їх генетично допустимих варіантів [2]. Аналіз цільової функції F_{TP} показує, що пошук генетично допустимих варіантів структур можна обмежити лише аналізом хромосомного набору в межах базового Виду ЦЛ 0.2у. Вимога D_{min} вимагає необхідності розгляду реплікованих структур ($K_R \geq 2$) спільно з операторами мутації. Заданій F_{TP} сставиться у відповідність наступна генетична модель (рис. 1).

Синтезована генетична модель (рис. 1) відтворює траєкторію пошуку ЕМ-структури, яка задовольняє вимогам заданої F_{TP} . Критерієм завершення процедури синтезу виступає ваговий коефіцієнт відповідності k_e , значення якого визначається відношенням інтегральної генетичної схильності P_C відповідної хромосоми до реалізації заданої інтегральної функції F_{TP}

$$k_e = P_C / F_{TP} \leq 1 \quad (2)$$

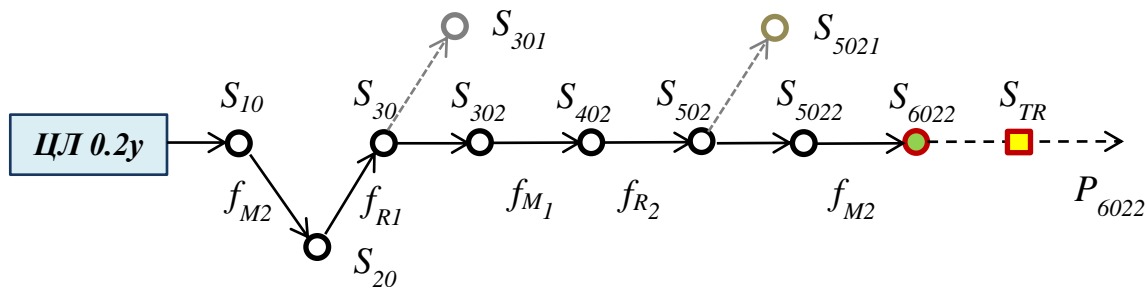


Рисунок 1 – Генетична модель синтезу структури ДКР за заданою функцією цілі F_{TP} : $f_{M2}, f_{R1}, f_{M1}, f_{R2}, f_{M2}$ – оператори генетичного синтезу; $S_{10}, S_{20}, \dots, S_{6022}$ – синтезовані структури хромосом; S_{TR} – технічне рішення; P_{6022} – популяція технічних рішень.

Рівень генетичної складності електромагнітної хромосоми, яка задовольняє заданій сукупності вимог, визначаємо за результатами генетичного аналізу (табл. 1).

Отже, заданій цільовій функції пошуку задовольняє генетично модифікована парна хромосома S_{6022} , структурним еквівалентом якої є електромагнітна структура ДКР з трьома елементарними статорами, несиметричні магнітні поля яких зсунуті в просторі на 120 ел. град., і з трьома елементарними, механічно зв'язаними (наприклад, через колінвал) роторами, осі яких зсунуті на просторовий кут $\beta_2 = 2\pi/3$ (рис. 2). Рівень генетичної складності хромосоми S_{6022} і відповідної популяції технічних рішень P_{6022} визначається наступною структурною формулою

$$S_{6022} = [(ЦЛ\ 0.2у):R_{Ox}:M_{\beta}]_1:[(ЦЛ\ 0.2у):M(OZ,\Delta y):R_{Ox}:M_{\beta 2}]_2 \subset S_{TR} \quad (3)$$

Таблиця 1 – Результати генетичного аналізу моделі структуроутворення ДКР

Код хромосоми	Структурна формула електромагнітної хромосоми	Статус хромосоми	k_{ϵ}
S_{00}	$\text{ЦЛ } 0.2y$	Батьківська	-
S_{10}	$(\text{ЦЛ } 0.2y)_1; (\text{ЦЛ } 0.2y)_2$	Електромагнітна пара	-
S_{20}	$(\text{ЦЛ } 0.2y)_1; [(\text{ЦЛ } 0.2y):M(OZ, \Delta y)]_2$	Мутована первинно-вторинна, інформаційна	-
S_{30}	$[(\text{ЦЛ } 0.2y):R]_1; [(\text{ЦЛ } 0.2y):M(OZ, \Delta y)]_2$	Хромосома-реплікатор ($K_{R1} = 3$), первинна, інформаційна	-
S_{301}	$[(\text{ЦЛ } 0.2y):R_{OZ}]_1; [(\text{ЦЛ } 0.2y):M(OZ, \Delta y)]_2$	Хромосома-ізомер (радіальна), інформаційна	-
S_{302}	$[(\text{ЦЛ } 0.2y):R_{OX}]_1; [(\text{ЦЛ } 0.2y):M(OZ, \Delta y)]_2$	Хромосома-ізомер (аксіальна), породжувальна	0,2
S_{402}	$[(\text{ЦЛ } 0.2y):R_{OX}:M_{\beta 1}]_1; [(\text{ЦЛ } 0.2y):M(OZ, \Delta y)]_2$	Мутована первинна ($\beta_1 = 120$ ел. град), породжувальна	0,35
S_{502}	$[(\text{ЦЛ } 0.2y):R_{OX}:M_{\beta}]_1; [(\text{ЦЛ } 0.2y):M(OZ, \Delta y):R]_2$	Хромосома-реплікатор ($K_{R2} = 3$), вторинна, інформаційна	-
S_{5021}	$[(\text{ЦЛ } 0.2y):R_{OX}:M_{\beta}]_1; [(\text{ЦЛ } 0.2y):M(OZ, \Delta y):R_{OZ}]_2$	Хромосома-ізомер (радіальна), інформаційна	-
S_{5022}	$[(\text{ЦЛ } 0.2y):R_{OX}:M_{\beta}]_1; [(\text{ЦЛ } 0.2y):M(OZ, \Delta y):R_{OX}]_2$	Хромосома-ізомер (аксіальна), породжувальна	0,7
S_{6022}	$[(\text{ЦЛ } 0.2y):R_{OX}:M_{\beta}]_1; [(\text{ЦЛ } 0.2y):M(OZ, \Delta y):R_{OX}:M_{\beta 2}]_2$	Мутована вторинна ($\beta_2 = 2\pi/3$), породжувальна	1,0

Структурній формулі (3) ставиться у відповідність геометрична модель структури ДКР (рис. 2).

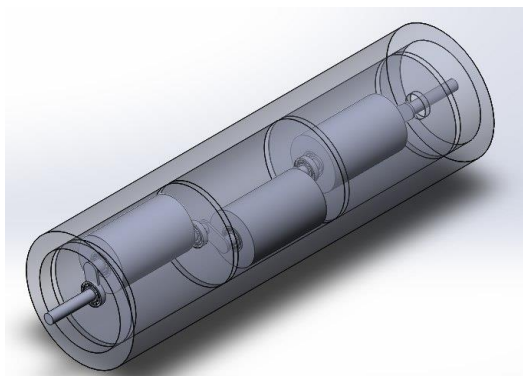


Рисунок 2 – 3D-модель синтезованої структури ДКР з динамічною компенсацією відцентрових сил, на основі електромагнітної хромосоми $S_{6022} \in 3(\text{ЦЛ } 0.2y)$

Висновки. Результати генетичного синтезу покладено в основу розробки конкурентоспроможного технічного рішення трьохроторного ДКР, яке забезпечує компенсацію динамічного дисбалансу, за рахунок осьової симетрії вихідних кінців колінвалу коткого ротора і рівномірного просторового розподілу динамічних навантажень елементарних роторів, по активній поверхні статора електродвигуна.

Перелік посилань

1. Шинкаренко В.Ф., Наний В.В., Котлярова В.В., Дунев А.А. Генетическая программа структурной эволюции электродвигателей с катящимся ротором // Електротехніка та електроенергетика, 2012. – № 2. – С. 42–48.
2. Бертинов А.И., Варлей В.В. Электрические машины с катящимся ротором. – М.: Энергия, 1969. – 200 с.
3. Методичні рекомендації до виконання курсової роботи інноваційного спрямування «Спрямований синтез нових різновидів електричних машин з використанням закону гомологічних рядів». Укл.: Шинкаренко В.Ф., Шиманська А.А., Котлярова В.В. Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – 110 с. Електронне видання.