

РІВНІ СТРУКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН МОДУЛЬНОГО ТИПУ

Котлярова В.В., асистент, Красовський П.О, Поправка Н.В., магістранти
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Модульний принцип широко використовується як один з ефективних напрямів структурно-функціональної оптимізації, стандартизації, раціоналізації і уніфікації технічних об'єктів [1]. Модульна концепція проектування орієнтована на максимально можливе використання однотипних вузлів (або елементів вузлів) при створенні складних об'єктів в умовах сучасного автоматизованого виробництва. Практична реалізація модульного принципу втрачає сенс при проектуванні одного механізму або однієї машини. Тільки в умовах розробки серій машин, або машин багатоцільового призначення, з використанням обмеженої кількості уніфікованих вузлів, останні набувають статусу структурно-функціональних модулів. Модулі, які використовуються в наступних розробках, переходять до категорії уніфікованих вузлів.

В генетичній концепції модульного проектування лежить структурно-системний підхід, при якому сукупність об'єктів, призначених для виконання заданих функцій, розглядається як складна система, яка складається з ряду підсистем.

Практична реалізація модульного принципу при проектуванні тягових електромеханічних об'єктів (ЕМ-об'єктів) може здійснюватися на різних рівнях їх складності. В загальному випадку структурно-функціональна уніфікація вузлів може здійснюватися на рівні індукторів і якорів електричних машин, магнітопроводів і секціонованих обмоток, індукторних систем багатомашинних агрегатів і систем гібридного типу.

Прикладами технічної реалізації ЕМ-об'єктів, генетична структура яких визначається модульним виконанням, є багатосекційні, багатообмоткові, багатозазні, багатополюсні, багатойндукторні, багатостаторні, багатороторні, і т.п. структурні композиції.

В теорії генетично організованих систем блочно-модульна організація є результатом реалізації генетичного принципу реплікації [2]. Реплікація (від пізньолат. *replicatio* – повторення) – один з основних принципів структуроутворення, який реалізується шляхом збільшення кількісного складу (розмноження) елементарних генетично визначених структур, які забезпечують передачу спадкових властивостей в ряду поколінь, від первинних елементів (породжувальних хромосом) до об'єктів – нащадків.

В задачах генетичного синтезу модульний принцип моделюється і реалізується з використанням генетичного оператора реплікації f_R , який забезпечує синтез багатоелементних електромагнітних структур з заданою кількістю елементів $N \geq 2$ і наступним утворенням ізомерних просторових композицій (рис. 1).

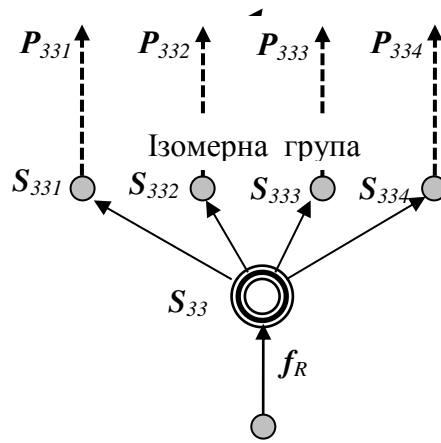


Рисунок 1 – Генетична модель структуроутворення ізомерної групи в задачах генетичного синтезу: f_R – генетичний оператор реплікації; S_{33} – хромосома – реплікатор; $S_{331} - S_{334}$ – ізомерна група електромагнітних хромосом; $P_{331} - P_{334}$ – популяції ізомерних просторових композицій структур – нащадків.

Генетичний оператор реплікації f_R відповідає за кількісний склад елементів структурної композиції K , утвореної з k однотипних елементів типу s_0 :

$$f_R(s_0) \rightarrow k_r s_0 \in K \subset R^3, \quad (1)$$

де: s_0 – електромагнітна хромосома – реплікатор; k_r – коефіцієнт реплікації; R^3 – тривимірний простір структуроутворення композицій K .

Для значень коефіцієнта реплікації $k_R \geq 2$, синтезована структура допускає N варіантів просторових композицій в R^3 , кількість яких буде зростати зі збільшенням розмірності k_R (рис. 2). Тому, електромагнітні хромосоми – реплікатори мають статус інформаційних хромосом, так як вони містять неявну генетичну інформацію стосовно множини можливих просторових реалізацій синтезованої структури. Властивість, яка пов'язана з наявністю множини варіантів розміщення з однакової кількості однотипних елементів, узагальнюється поняттям просторової ізомерії (на відміну від ізомерії речовини), а множина їх просторових композицій – структурними ізомерами [3].

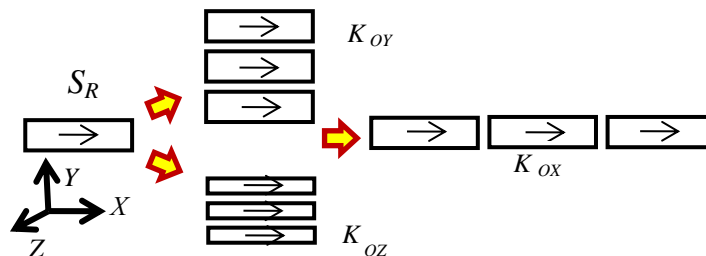


Рисунок 2 – Варіанти просторових ізомерних композицій (K_i), синтезованих в R^3 з використанням генетичного оператора реплікації ($k_r = 3$):

$$S_R = 3ПЛ 2.2x - \text{хромосома} - \text{реплікатор}.$$

В структуроутворенні електричних машин принцип реплікації і синтезовані ізомерні групи можна ефективно використовувати на всіх рівнях структурної організації з відповідним вибором електромагнітних хромосом і коефіцієнта реплікації (табл. 1).

Таблиця 1 – Рівні структурно-функціональної відповідності генетичного принципу реплікації

| Рівень генетичної організації | Структурний модуль | Реплікована структура | Емерджентний ефект |
|-------------------------------|--|--|--|
| Хромосомний | Первинне джерело поля | Ізомерна композиція | БД просторових композицій для прийняття рішень |
| Елементний | Секція, полюс, котушка, ... | Секціоновані обмотки, багатополюсні, багатокотушкові обмотки | Уніфікація, технологічність, розширення функціональних можливостей |
| Об'єктний | Пакет магнітопроводу, індуктор, якір, статор, ротор, ... | Багатопакетні магнітопроводи, багатоіндукторні, багатостаторні, багатороторні ЕМ-об'єкти | Уніфікація, технологічність, резервування, ремонтоздатність, розширення функціональних можливостей |
| Системний | Двигун, генератор, гібридні і суміщені системи | Багатодвигунний електропривод; багатомашинна електромеханічна система; система «двигун – генератор), ... | Розширення функціональних можливостей |

Рівень первинних джерел електромагнітного поля (хромосомний) в періодичній структурі генетичної класифікації (ГК) виконує функцію глобальної генетичної програми для постановки і розв'язання задач синтезу і генетичного аналізу ізомерних груп і композицій ЕМ-об'єктів довільного рівня складності.

На об'єктному рівні ізомерні композиції реалізуються у вигляді відповідних технічних рішень модульного типу, які широко представлені в технічній еволюції тягових електричних машин, в тому числі, машин тягового призначення (рис. 3).

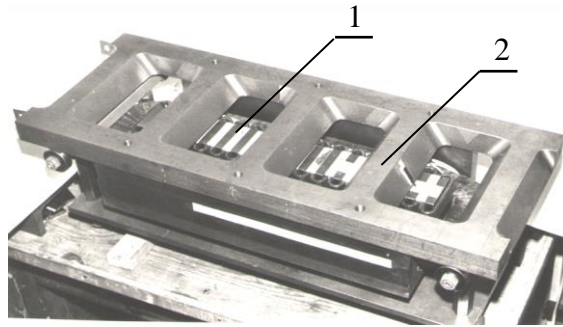


Рисунок 3 – Тягово-підйомний модуль лінійного індукторного двигуна для бортової електромеханічної системи високошвидкісного транспорту на магнітному підвісі [4]: 1 – модуль якоря; 2 – явнополюсний вторинний елемент (фрагмент).

Представлений на рис. 3 тягово-підйомний модуль є представником об'єктного рівня (Вид плоских синхронних машин PL 2.2x) в багаторівневій модульній організації складної бортової електромеханічної системи (ЕМ-системи) високошвидкісного транспорту на магнітному підвісі. Модульний принцип реалізовано на рівні: пакетів магнітопроводів, зосереджених котушок обмотки збудження і жорстких секцій розподілених якірних обмоток, модульної структури бортової системи магнітних «лиж» (правою і лівою) і секцій явнополюсної вторинної частини. Системний рівень технічної реалізації модульного принципу тягової ЕМ-системи (рис. 4) дозволяє забезпечити високий рівень функціональності, технологічність виготовлення, уніфікацію вузлів, гнучкість системи керування, підвищити надійність і ремонтоздатність.

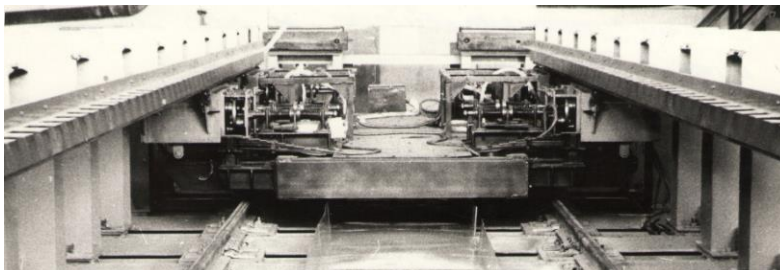


Рисунок 4 – Системний рівень технічної реалізації модульного принципу організації електромеханічної системи високошвидкісного транспорту на магнітному підвісі

Структурна ізомерія тягових електродвигунів широко представлена також в сучасних схемах модульного електроприводу безпілотних літальних апаратів (рис. 5) [5].

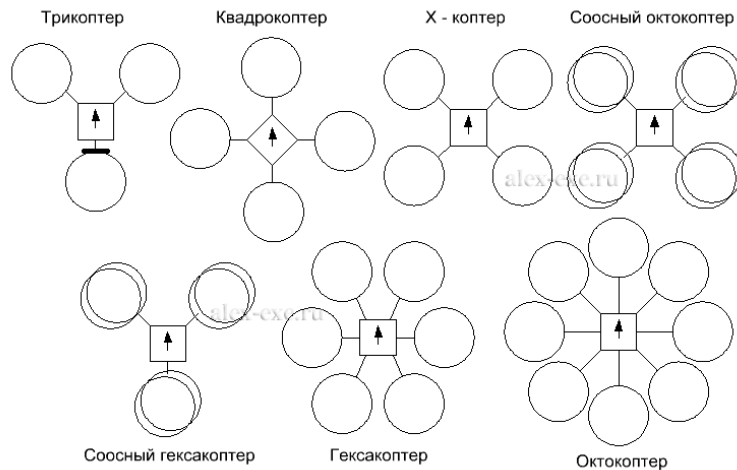


Рисунок 5 – Ізмерні просторові композиції тягово-підйомних модулів в компоновках безпілотних літальних апаратів

Структурні ізмерні композиції як цілісні об'єкти, характеризуються емерджентним ефектом, так як кожна з них, наділена певними функціональними властивостями, які відсутні в елементарних структурних модулях. Ізмерні структури мають великий евристичний потенціал, а їх генетичні банки даних становлять системну основу для спрямованого пошуку, вибору і інноваційного синтезу оригінальних технічних рішень (рис. 6).



Рисунок 6 – Ізмерні просторові композиції ($k_r = 8$) тягових електродвигунів в сучасних безпілотних літальних апаратах: а) поперечно-лінійна композиція для гібридного безпілотника (проект NASA) [6]; б) осесиметрична композиція для вантажопідйомного дрона DJI S1000 [7].

Ізмерна композиція поперечно-лінійного типу (14 ЦЛ 0.2у) використана в реплікованій структурі модульних тягових електродвигунів, суміщених з повітряними гвинтами за схемою ($k_R = 2 + 12$) для експериментального зразка електrolітака NAS-X-57 «Максвелл» (НАСА, США) [8]. Така структурна композиція забезпечує реалізацію оптимального режиму електротяги літака. Ефективність такої компоновки пояснюється тим, що 12 двигунів вмикаються лише в режимах розгону, набору висоти і при посадці, а два двигуни більшої потужності, які розміщені на краях крил, використовуються лише для польоту на крейсерській швидкості (рис. 7).



Рисунок 7 – Ізомерна композиція поперечно-лінійного типу в модульній структурі ($k_R = 12 + 2$) тягових електродвигунів експериментального зразка електролітака NAS-X-57 «Максвелл»

Висновки:

1. Принцип реплікації є одним з найбільш продуктивних генетичних принципів структуроутворення, який знайшов широке використання в модульному дизайні сучасних ЕМ-систем.

2. Застосування принципу реплікації призводить до утворення ізомерних груп, які визначають генетично допустимі варіанти просторових композицій модульного типу.

3. Структурні ізомерні композиції, як цілісні об'єкти, наділені емерджентним ефектом, так як кожна з них, характеризується певними функціональними властивостями, які відсутні в елементарних структурних модулях.

4. Наявність детермінованого інформаційного взаємозв'язку між реплікованими структурами електромагнітних хромосом і модульними структурами-нащадками відкриває можливість визначення генетичних програм структуроутворення ЕМ-об'єктів з можливістю передбачення і вибору оптимальних структурних композицій модульного типу.

Перелік посилань

1. Васильев А.Л. Модульный принцип формирования техники / А.Л. Васильев. – М.: Изд. Стандартов, 1980. – 240 с.

2. Шинкаренко В.Ф. Основы теории эволюции электромеханических систем / В.Ф. Шинкаренко. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.

3. Шинкаренко В.Ф. Структурная изомерия и ее моделирование в задачах генетического синтеза электромеханических структур / В.Ф. Шинкаренко, А.А. Августинович, В.В. Лысак, М.А. Вахновецкая // Электротехника і електромеханіка, 2009, № 1. – С. 33 – 36.

4. А. св. СССР №1226578, МПК H02 K 41/03. Линейный индукторный электродвигатель / В.Ф. Шинкаренко, И.Л. Славинский, В.С. Попков, Л.П. Побережский. Бюл. № 15, от 23.04.86.

5. Квадрокоптер. Режим доступа: <https://alex-exe.ru/avia/quadrocopter/>

6. Беспилотник NASA с 10 электродвигателями: эра летающих дронов-трансформеров началась. Режим доступа: <https://geektimes.ru/post/249896/>

7. Грузовой дрон DJI S1000. Режим доступа: <https://gamestore.com.ua/kvadrokoptery/product/gruzovoi-dron-dji-s1000/50967/>

8. Электрический исследовательский самолет NAS-X-57. Режим доступа: <https://www.nasa.gov/image-feature/nasas-x-57-electric-research-plane>