

ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ  
ЗА ДОПОМОГОЮ ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ

Мінко О. М. к.т.н., с.н.с., e-mail: [alexandr.minko@i.ua](mailto:alexandr.minko@i.ua)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Актуальність дослідження.** Процес проектування електромеханічних перетворювачів енергії є складною та багатогранною задачею, яка з одного боку обмежується технічними та методологічними можливостями існуючого інструментарію проектування, та з іншого боку – сучасними вимогами ринку збуту електромеханічного обладнання, куди відносяться на самперед вимоги технологічності, безпеки, екологічності та доцільної економіки майбутнього агрегату. Такий підхід впливає як на строки виконання проектно-конструкторських робіт, так і на якість окремих результатів. Суттєвим покращенням якості проектування є використання параметричного проектування та перехід до багатопараметричного проектування з використанням функції з декількома змінними.

**Мета досліджень.** Обґрунтування доцільності використання параметричного проектування електричних машин та перехід до багатопараметричного проектування з використанням функції з декількома змінними.

**Основні матеріали досліджень.** Параметричне моделювання (параметризація) – моделювання (проектування) за допомогою параметрів елементів моделі та співвідношень між цими параметрами. Параметризація дозволяє за короткий час виконати достатню кількість розрахунків, які б наближали до необхідного позовника (за допомогою зміни параметрів або геометричних співвідношень) різні конструктивні схеми, або рішення і уникнути принципів помилок [1].

Класичне уявлення процесу параметризації у тривимірній постановці задачі для проектування геометричної поверхні визначається функція  $F(t_1, \dots, t_k) : M \rightarrow R^3$ , яка залежить від  $k$ -параметрів та відображає деяке зв'язкове безліч  $M$  із  $n$ -мірного простору в тривимірний простір таким чином, що це відображення являю собою поверхню. Ця функція  $F$  задає клас поверхонь, а набір  $k$ -параметрів – конкретна поверхня з цього класу. Найбільш практичним є випадок, коли безліч  $M$  є одиничним квадратом у двовимірному просторі. У цьому випадку параметричну поверхню можна описати так:

$$(x, y, z) = F(a, b) = \begin{cases} x = X(a, b); \\ y = Y(a, b); \\ z = Z(a, b), \end{cases} \text{ при } (a, b) \in [0, 1]^2. \quad (1)$$

де,  $a$  та  $b$  – параметри координати  $X$ ,  $Y$  та  $Z$ .

Параметричні поверхні широко використовуються в майже в кожному методі проектування та комп'ютерній графіці для представлення складних поверхонь. Параметризація робить такі поверхні зручними для обчислення, обробки, відображення та подальшого аналізу.

Математичний вигляд багатопараметричного стану системи може бути представлено узагальненим вектором:

$$X^T = [x_1, x_2, \dots, x_j] \quad (2)$$

де,  $x_1, x_2, x_j$  – параметри, які визначають стан системи в межах принципової моделі, та мають властивість змінюватись в процесі експлуатації електричної машини.

Сімейство параметрів  $x$  можна утворити за допомогою:

а) скалярного виразу (температура струмопровідних частин електричної машини, тиск охолоджуючого середовища);

б) векторного виразу (електромагнітне навантаження, реакція опорних частин на механічне навантаження, геометричний показник, швидкість, тощо);

- в) тензорного виразу (електрична напруга, механічна або магнітна деформація);
- г) окремими функціями (механічні коливання, вібрація, показники шуму).

Ці параметри можуть бути зосередженими та розподіленими по всій системі, або в межах частини конструкції електричної машини, яка підлягає моделюванню.

Вектор стану (2) повинен відповідати вектору зовнішніх показників  $Y$  (це показники режиму роботи електричної машини, умови її використання, показники навантаження на валу ротора – для електричних двигунів, та показники вхідних параметрів від турбіни – для генераторів). Відповідність двох векторів виконується за допомогою оператора  $H$ , який реалізує метод розрахунку та властивості електромеханічних процесів (наприклад, системи рівнянь Максвелла) розрахункової моделі  $X(t) = HY(t)$ , де,  $t$  – час, год.

Зміна технічного стану електромеханічного перетворювача енергії можна уявити рухом вектору  $X$  у багатовимірному просторі  $\Phi$  вектор-функції:

$$X(t_i) = X(t_0) + \int_{t_0}^{t_i} \alpha_s(X, Y) dt, \quad (3)$$

де,  $\alpha_s$  – узагальнена швидкість зміни, яка залежить від вектору поточного стану  $X$ , та вектору зовнішніх показників  $Y$ .

Простір  $\Phi$  розділено поверхнею ознак  $\Omega$ , яка відокремлює частину працездатного стану від не працездатного. Оскільки процес  $X(t)$  випадковий, ймовірність роботи в працездатному стані електричної машини (або вузлу, який моделюється), в проміжку часу  $(t_0, t)$  складає ймовірності знаходження вектору  $X$  на ділянці  $\Omega$ :  $P(t) = P[X(\tau) \in \Omega, \tau \in (t_0, t)]$ , де,  $\tau$  – поточний час, год.

Загальний вид рішення задачі зміни технічного стану електричної машини полягає в дискретизації в часі та просторі та вирішенні задач її послідовного стану за допомогою вводу достатньо малого проміжку часу  $\delta t$  (крок напрацювання). Швидкість зміни технічного стану на цьому проміжку часу визначається в залежності від стану, властивостей та режимних показників електричної машини до першої зміни технічного стану, за обраним показником (або показниками). Відповідно вираз узагальненої швидкості  $\alpha_s = dX/dt$  апроксимується до наступного виразу:

$$\alpha_s \cdot X(t_i) = \frac{X(t_{i+1}) - X(t_i)}{\delta t}. \quad (4)$$

Метод достатньо ефективний при не великому показнику  $\delta t$ . Ресурс електромеханічної системи визначається при досягненні заданої величини.

**Висновок.** Перехід до багатопараметричного проектування з використанням функції з декількома змінними містить наступні процедури:

- аналіз структури електромеханічної системи (розбір системи на окремі елементи та елементарні процеси, й встановлення зав'язків між елементами та процесами);
- математичне моделювання елементарних процесів, розробка оператора переходу технічного стану від початкового стану до наступного (кінцевого) для цих елементарних процесів;
- розробка математичної моделі та алгоритму поведінки системи в цілому (розробка багато параметричної системи рівнянь);
- імітаційне моделювання електромеханічної системи засобами САД, в тому числі проведення математичного (програмного) експерименту.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Минко А.Н. Реализация полипараметрического проектирования асинхронного электрического двигателя. – Матеріали VI-ї Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної енергетики». – Херсон: ПП "Резнік", 2021. – С. 17-19.