

УДК 621.313

Мельничук Ю.О.¹, Міньков Д.О.¹, Літвінов Д.О.²

¹ студ. гр. Е-210м НУ «Запорізька політехніка»

² старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЯВИЩ В АСИНХРОННОМУ ДВИГУНІ МЕТОДОМ ПРОСТОРОВОГО ВЕКТОРУ

Механічні характеристики асинхронних двигунів побудовані за загальновідомою формулою Клоса й відповідають тільки статичним режимам, коли момент не перевищує моменту критичного M_k за паспортними даними, але вони істотно відрізняються від характеристик реальних, у яких враховуються електромагнітні процеси.

Точний математичний опис явищ, що відбуваються в асинхронних машинах, складний та громіздкий, тому можна використовувати наступні загальновідомі допущення:

- відсутність насичення магнітного кола;
- відсутність гістерезису;
- синусоїдальний розподіл у кривих МРС та магнітних індукцій;
- незалежність індуктивних опорів розсіювання від положення ротора;
- повна симетрія обмоток статора.

Математичний опис асинхронного короткозамкненого двигуна, із урахуванням припущень, можна представити у вигляді систем рівнянь (рівняння напруг для обмотки статора та короткозамкненого роторного ланцюга). Потокозчеплення обмотки кожної фази є функцією всіх струмів статора та ротора.

У системах рівнянь параметри: L_s та L_r є власними індуктивностями відповідних обмоток статора та ротора, усі інші параметри – це взаємоіндуктивності між відповідними обмотками статора $L_{s1,2}$, ротора $L_{r1,2}$; й статора та ротора, наприклад, $L_{1,1}$ – взаємоіндуктивність між першою обмоткою статора та першою обмоткою ротора. До системи рівнянь використовується основне рівняння динаміки електроприводу

$$J\Sigma.d\omega/dt = M - M_c, \quad (1)$$

де $J\Sigma$, M , M_c , ω – відповідно сумарний момент інерції, електромагнітний і статичний моменти та кутова швидкість двигуна.

Електромагнітний момент може бути виражений через векторні величини потокозчеплення та струмом ротора у координатних осях x, y :

$$M = \psi_{rx} \cdot I_{rx}. \quad (2)$$

Незважаючи на повний та суворий математичний опис, використання системи рівнянь для дослідження електричної машини зустрічає серйозні труднощі.

Перелічимо основні:

- у рівняннях фігурують векторні та скалярні величини;
- кількість взаємопов'язаних рівнянь дорівнює 16, а кількість коефіцієнтів при них - 44;
- коефіцієнти взаємоіндукції між обмотками статора і ротора у рівняннях є функцією кута повороту ротора щодо статора, тобто ці рівняння є рівняннями зі змінними коефіцієнтами;
- присутнє нелінійне рівняння, так як у ньому перемножуються змінні.

На шляху спрощення математичного опису асинхронної машини можна застосувати метод просторового вектора, який дозволить істотно спростити і скоротити створену систему рівнянь; метод дозволяє зв'язати рівняння до єдиної системи із векторними змінними станами.

Суть методу полягає у тому, що миттєві значення симетричних трифазних змінних станів (напруги, струми, потокозчеплення) можна математично перетворити так, щоб вони були представлені одним просторовим вектором. Це математичне перетворення має вигляд (наприклад, для струму статора):

$$\vec{i} = 2/3 (i_A + \bar{a} \cdot i_B + \bar{a}^2 \cdot i_C), \quad (3)$$

де $\bar{a} = e^{j2\pi/3}$, $\bar{a}^2 = e^{j4\pi/3}$ вектори, що враховують зміщення обмоток.

Трифазну симетрію струмів в обмотці статора можна представити, як:

$$i_A = I_m \cos \omega t, \quad i_B = I_m \cos(\omega t - 2\pi/3), \quad i_C = I_m \cos(\omega t - 4\pi/3). \quad (4)$$

У якості основних базових величин вибираються амплітудні номінальні значення фазної напруги та струму, а також номінальне значення кутової частоти. Визначаються базові значення усіх змінних та коефіцієнтів, що входять у рівняння, а також базового часу. Узагальнена система рівнянь для опису електромеханічних явищ асинхронного двигуна набуде вигляду:

$$\dot{\psi}_s = r_s \cdot \vec{i}_s + d\psi_s/dt + j\alpha_k \cdot \psi_s, \quad (5)$$

$$\dot{\psi}_r = r_r \cdot \vec{i}_r + d\psi_r/dt + j(\alpha_k - p n \cdot \omega) \cdot \psi_r, \quad (6)$$

$$\psi_s = x_s \cdot \vec{i}_s + x_m \cdot \vec{i}_s, \quad (7)$$

$$\psi_r = x_m \cdot \vec{i}_s + x_r \cdot \vec{i}_r, \quad (8)$$

$$\mu = k \cdot \text{Mod}(\psi i, ik), \quad (9)$$

$$J\mu \cdot d\psi/d\tau = \mu - \mu c. \quad (10)$$

У цих рівняннях всі змінні відносні, отримані як результат ділення реальних значень на базові, всі коефіцієнти також безрозмірні, отримані аналогічно. Для розрахунку магнітного ланцюга, надалі рекомендується застосовувати схемно-польове моделювання.