

## ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З ДВИГУНАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

В статті розглядаються умови, при яких перехідні процеси в електромеханічних системах з двигунами постійного струму найточніше відображають властивості двигунів з точки зору зміни електромагнітної та механічної енергії. Надані рекомендації щодо використання розглянутих методів при побудові математичних моделей.

В статье рассматриваются условия, при которых переходные процессы в электромеханических системах с двигателями постоянного тока наиболее точно отражают свойства двигателей с точки зрения изменений электромагнитной и механической энергий. Даны рекомендации использования рассмотренной методики при построении математических моделей.

The article examined the terms at which transients in electromechanics are examined systems with the engines of direct current most exactly reflect properties of engines from point of changes of electromagnetic and mechanical energies. Of recommendation of the use of the considered method at the construction of mathematical models is given.

Побудова математичної моделі з електричним приводом постійного струму для транспортних засобів.

зв'язана з особливостями перехідних процесів, які в свою чергу пов'язані з накопичуванням або розсіюванням електромагнітної енергії в колах машин, а також механічної енергії обертаючих мас при переході від одного постійного стану до другого. Відомо (1), що енергія магнітного поля визначається конструкцією елементів магнітного кола та індуктивністю обмоток. Механічна енергія визначається маховим моментом..

Характер перехідних процесів залежить від деяких факторів, основними з яких являються: нелінійність характеристик намагнічування головних і допоміжних полюсів, взаємоіндукція кола якоря і збудження, реакція якоря, вихреві струми в частинах магнітопроводів, зміни перехідного падіння напруги у щіточному контакті, зміна частоти обертання якоря.

Для поліпшення рішення задач, пов'язаних з дослідженням перехідних процесів, необхідно ввести допущення. Розглянемо врахування вихрових струмів. Як показано (2), для тягових двигунів вихревий струм пропорційний швидкості зміни магнітного потоку двигуна. Наявність вихрових струмів призводить до появи магнітного кола з рівняннями

$$\oint_l H_2 dl = I_2 ;$$

$$\text{rot} H_2 = J_2 ,$$

де  $H_2$ ,  $I_2$ ,  $J_2$  – напруженість, вихревий струм та його густина відповідно. В свою чергу магнітний потік  $\Phi_2$  і електрорушійна сила  $E_2$  поля вихрових струмів змінюються за часом і в свою чергу наводять свої вихреві струми. Під впливом полів вихрових струмів процеси зміни основного магнітного поля двигунів сповільнюються.

Складність процесів і умов, при яких збуджуються вихреві струми, не дозволяє достатньо точно визначити їх вплив на перехідні процеси в електричних колах двигунів. Тому вплив вихрових струмів при розрахунках враховують приблизно або зовсім не враховують. Зараз є декілька способів, які дозволяють приблизно враховувати вплив вихрових струмів на перехідні процеси. Ці способи перевірені практично (1).

Якщо розрахунки орієнтовано приблизно, то можливе збільшення сталої часу кола збудження. Для цього в розрахунок часу збудження вводять коефіцієнт демпфування, який збільшує час його збудження. В другому випадку розрахунки проводять на підставі еквівалентного коротко замкнутого контура. При цьому магнітопровід замінюють розділеним на декілька частин з деякою короткозамкнутою еквівалентною обмоткою, параметри якої можна знайти на підставі дослідів. Розрахунки при цьому методі відрізняються значною громіздкістю і потребують високої точності їх виконання.

У деяких випадках вплив вихрових струмів враховують введенням дослідних коефіцієнтів. Магнітна характеристика при цьому задається у вигляді

$$\Phi = f(i_M)$$

де  $i_M$  – струм намагнічування.

$$i_M = I_3 + \frac{i_B}{w_3}$$

де  $i_B = K_\Phi \frac{d\Phi}{dt}$  – вихровий струм;  $K_\Phi$  – дослідний коефіцієнт;  $I_3, w_3$  – відповідно струм і кількість витків обмотки збудження.

Метод магнітної індуктивності заключається у наступному. Ріст магнітного потоку двигуна під впливом раптово прикладеної магніторушійної сили обмотки збудження внаслідок впливу вихрових струмів проходить сповільнено згідно з рівнянням

$$\Phi(t) = \Phi_0 + \Phi_1(t),$$

де  $\Phi_0$  – остаточний магнітний потік;

$$\Phi_1(t) = \frac{F_0}{R_m(t)}$$

ної сили обмотки збудження  $F_0$  і вихрових струмів;  $R_m(t)$  – перехідний опір магнітного кола двигуна.

При врахуванні впливу вихрових струмів в даному випадку беруть до уваги тільки основну хвилю вихрових струмів, що забезпечує достатню східність розрахунків і дослідних даних.

Для врахування впливу насичення магнітного кола характеристика намагнічування апроксимується вигнутою ламаною лінією. На кожній лінійній ділянці магнітна проникність приймається як

$$\frac{dB}{dH} = \text{const}.$$

Одночасно буде змінюватися диференційний магнітний опір

$$R_m = \frac{dF}{d\Phi}$$

Магнітна індуктивність  $L_m$  (Ом<sup>-1</sup>) – це параметр, визначений геометричними розмірами та електропровідністю масивних частин двигуна, визначений рівнянням

$$L_m = \left[ \frac{\gamma_j \cdot b_j \cdot l_j}{16a_j} + \frac{\gamma_p \cdot \pi^2 \cdot b_p \cdot a_p \cdot l_p}{64(a_p + b_p)} \right],$$

де  $\gamma_j$  та  $\gamma_p$  – електропровідність матеріалів станини і полюса відповідно;  $a_j, b_j, l_j, a_p, b_p, l_p$  – це геометричні розміри відповідно станини та головних полюсів.

Розрахунки перехідних процесів методом магнітної індуктивності забезпечують високий рівень достовірності отриманих результатів.

Реакція якоря здійснює суттєвий вплив на магнітне поле головних полюсів. Якщо поперечна складова реакції якоря може послабити магнітне поле головних полюсів коли магнітне коло двигуна насичене, то повздовжня складова реакції якоря в залежності від зміщення щіток з геометричної нейтралі може підсилити магнітний потік головних полюсів.

Реакція допоміжних полюсів в залежності від напрямку зміщення щіток сприяє збільшенню або зменшенню ЕРС. якоря. Крім того, під впливом магнітного поля допоміжного полюса відбувається деяке підвищення насичення одних ділянок станини і зменшується насичення інших.

Однак цей вплив допоміжних полюсів є незначним, тому ним зазвичай нехтують.

Розглянуті в роботі питання дозволяють побудувати математичну модель, яка необхідна для даних умов досліджень. Так, у роботі (3) були використані деякі питання цієї методики при побудові математичної моделі тягового двигуна ЕД141У1 як нелінійного об'єкта регулювання.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования / О. Д. Гольдберг, О. Б. Буль и др // Под. ред. Гольдберга О. Д.– М.: Высш. шк., 2001.
2. Тягові електричні машини електрорухомого складу / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-та заліз. трансп. імені акад. В. Лазаряна, 2003.
3. Кедря М. М., Чумак І. В. Математическая модель тягового привода постоянного тока. / Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. імені акад. В. Лазаряна. – Вип. 4. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-та заліз. трансп. імені акад. В. Лазаряна, 2004.

Надійшла до редколегії 05.07.2007.