

I. ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 621.313.17: 621.313.8

А. П. Оксанич, В. Р. Петренко, С. Е. Притчин, П. М. Білий

ОСНОВНІ ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ МАЛОПОТУЖНИХ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ

В статті розглянуто основні динамічні показники малопотужних магнітоелектричних двигунів дискового типу. Отримано розрахункові формули для оцінки добротності, електромеханічної та електромагнітної сталей часу на початковій стадії проектування двигунів.

Вступ

Дискові магнітоелектричні двигуни (МД) завжди були для інженерів-розробників електричних машин (ЕМ) цікавими об'єктами. Так в інтегрованих електричних приводах дискові МД з аксіальним магнітним полем дозволяють суттєво розширити діапазон робочих частот і одночасно з цим підвищити енергетичні, динамічні, вібраційні та акустичні характеристики привода, а також покращити його масогабаритні показники, забезпечити режим як крокового, так і безперервного (автосинхронного) руху ротора.

Дискова конструкція МД є зручною для вбудовування в конструкцію виконавчих механізмів, завдячуючи своїм невеликим осьовим розмірам. Крім цього при великих зовнішніх діаметрах такі МД можуть розвивати більший момент у зв'язку з кубічною залежністю його від середньої величини діаметра електромагнітного ядра [1, 2].

Відомі роботи з теорії та розрахунку малопотужних МД, наприклад [3, 4], не повною мірою відображають питання розрахунку динамічних показників, а саме добротності, електромеханічної та електромагнітної сталей часу, які характеризують процес електромеханічного перетворення енергії.

Мета роботи – отримання рівнянь для оцінювання динамічних показників дискового малопотужного МД на основі аналізу основних електромагнітних співвідношень, які характеризують процеси енергоперетворення.

Основний матеріал і результати

Розглянемо спрощену конструктивну схему магнітної системи (МС) двигуна (рис. 1), що являє собою два феромагнітних ободи 1 кільцевої форми, які є магнітопроводом, і на яких розташовано сегменти магнітного шару (постійні магніти) 2 системи Nd-Fe-B.

Дисковий ротор (якір) складається з двох струмових шарів, де кожний шар являє собою окремі намотані секції з емалірованого обмоточного проводу, які опресовуються у вигляді диску і заливаються спеціальним компаундом у відповідній прес-формі. Фізична реалізація одного струмового шару показана на рис. 2.

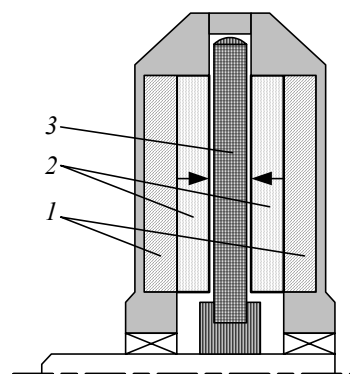


Рис. 1. Конструктивна схема МС двигуна:
1 – магнітопровід; 2 – постійні магніти; 3 – струмовий шар

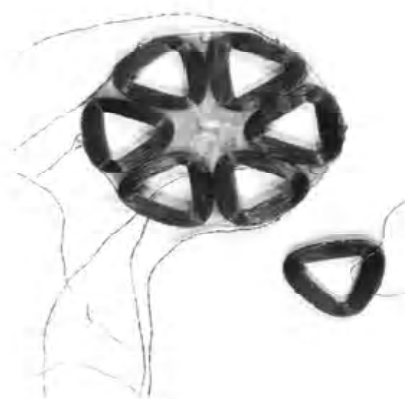


Рис. 2. Струмовий шар ротору

Наведена конструктивна схема МД (рис. 1) у порівнянні з ЕМ звичайної конструкції має такі переваги:

1. Можливість конструювати МД в плоскому виконанні, що в деяких випадках дозволяє спростити кінематичну схему привода та зменшити габаритні розміри пристроїв, де застосовуються вказані двигуни. На рис. 3 показано діючий зразок МД у плоскому виконанні.

© А. П. Оксанич, В. Р. Петренко, С. Е. Притчин, П. М. Білий 2008 р.

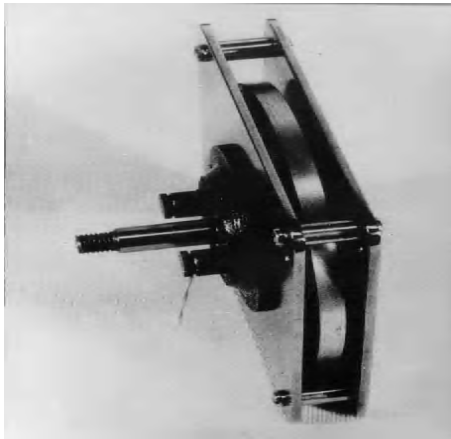


Рис. 3. Діючий зразок МД

2. Індуктивність обмотки немагнітного якоря порівняно невелика, а також практично відсутня реакція якоря [5], внаслідок чого МД має добрі умови комутації, відсутнє розмагнічування ПМ та пульсації магнітного потоку.

3. Маса та момент інерції в порівнянні з такими ЕМ інших видів конструкції якоря є малими.

У порівнянні печатного та дискового обмоткового виконання немагнітного якоря МД останні мають такі переваги:

- можливість виконання МД з малими розмірами диска якоря, а також виконання МД з більш високими значеннями напруги живлення;
- можливе виконання МД з більшими значеннями магнітної індукції в повітряному проміжку;
- дисковий немагнітний ротор з обмоточного проводу є механічно більш жорстким.

До недоліків слід віднести менш сприятливі умови теплопередачі провідників обмотки, що знаходяться у пластмасі, у порівнянні з печатним диском.

Одним з основних параметрів, що визначає динамічну похибку виконавчого МД в безпосередньому сервоприводі, є номінальна добротність. Цей же параметр визначає необхідну потужність МД в системах стабілізації при заданій динамічній точності відтворення деякого спектру випадкових впливань.

Розглянемо насамперед вплив теплових обмежень на допустиму густину струму в режимі короткочасних перевантажень, вважаючи при цьому, що тепловий процес є близьким до адіабатичного.

Обмеження на допустиму щільність струму в тривалому режимі можна оцінити таким чином [6]:

$$Q = \frac{\Delta P}{2\pi R_{cp} l} = \rho j A, \quad (1)$$

де Q – питомий тепловий потік з бокових поверхонь ротору; $\Delta P = I^2 R W$ – омичні втрати в активній частині обмотки ротора; W – число провідників обмотки ротора; A – лінійне електричне навантаження ротора; j – густина струму; R_{cp} – середній радіус активної части-

ни ротора; R – активний опір; ρ – питомий опір міді; l – активна довжина провідника.

Враховуючи що [7]:

$$A = \frac{IW}{2\pi R_{cp}} = h_{cui} k_3 j, \quad (2)$$

де h_{cui} – товщина струмового шару обмотки ротора; k_3 – коефіцієнт заповнення електропровідним матеріалом, вираз (1) приведемо до вигляду:

$$Q = \rho j^2 h_{cui} k_3. \quad (3)$$

Встановлене перебільшення θ_{ec} температури обмотки ротора пов'язано з тепловим потоком

$$\theta_{ec} = \frac{Q}{k_\theta}, \quad \text{де } k_\theta \text{ – коефіцієнт тепловіддачі в на-$$

вколишнє середовище.

Вираз для перебільшення щільності струму в струмовому шарі ротора в тривалому режимі буде мати вигляд:

$$j_{mp} \leq \sqrt{k_\theta \theta_{ec} j k_3 \rho h_{cui}}. \quad (4)$$

Вираз для обертаючого момента будь-якої ЕМ дискового типу має вигляд [7]:

$$M = F \cdot R_{cp} = I B_\delta l_a W R_{cp} = j h_{cui} k_3 2\pi B_\delta l_a R_{cp}^2. \quad (5)$$

де F – сумарна сила, що діє на всі провідники струмового шару обмотки ротора; B_δ – індукція в немагнітному проміжку.

У зв'язку з тим, що принциповою особливістю дискового МД є те, що в обертаючому русі беруть участь усі провідники ротора, який складається з двох струмових шарів, розташованих на тонкій ізолюючій прокладці, тоді добротність дискової ЕМ дорівнює [8]:

$$\varepsilon = \frac{M}{J_p} = \frac{M}{J_g + J_{cui}}, \quad (6)$$

де J_p – момент інерції ротора, який складається з моментів інерції вала J_g та струмового шару J_{cui} .

Момент інерції вала розраховується за формулою [7]:

$$J_g = \rho_{Fe,kc} R_g^4 l_g,$$

де $\rho_{Fe,kc} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – густина конструкційної сталі; R_g – радіус вала ротора; l_g – довжина вала.

Момент інерції струмового шару визначається у вигляді [7]:

$$J_{cui} = m_{cui} \cdot R_{cp}^2 = \rho_{Cu} l_a h_{cui} R_{cp}^3, \quad (7)$$

де $\rho_{Cu} = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – густина міді струмового шару.

Тоді добротність згідно з (6) буде дорівнювати:

$$\varepsilon = \frac{j h_{cu} k_3 2\pi B_\delta l_a R_{cp}^2}{\rho_{Fe,kc} R_\theta^4 l_\theta + \rho_{Cu} l_a h_{cu} R_{cp}^3}. \quad (8)$$

Оцінювання електромеханічної сталої часу МД.

Електромеханічна стала МД визначається відомим виразом:

$$T_M = \frac{J R_p}{c^2}, \quad (9)$$

де R_p – опір струмового шару ротора; J – момент обертаючих частин ротора; C – конструктивна стала ЕМ, яку можна представити як [8]:

$$c = \frac{E}{\omega} = \frac{M}{I} = B_\delta l_a R_{cp} \alpha_p W, \quad (10)$$

де α_p – коефіцієнт полюсного перекриття.

Тоді електромеханічна стала дорівнює:

$$T_M = \frac{(\rho_{Fe} R_\theta^4 l_\theta + \rho_{Cu} l_a h_{cu} R_{cp}^3)}{B_\delta^2 l_a^2 R_{cp}^2 \alpha_p^2 W^2}. \quad (11)$$

Розрахунок показав, що $T_M = 0,2$ мс.

Оцінювання електромагнітної сталої часу МД.

Одним з важливих параметрів, що визначають динамічні характеристики ЕП, є електромагнітна стала часу [8]:

$$T_{el} = \frac{L}{R} = \frac{L I^2}{R I^2} = \frac{2W_M}{P}, \quad (12)$$

де I – струм ротора; W_M – енергія магнітного поля реакції якоря; P – потужність втрат в обмотці якоря.

Якщо магнітна система (МС) поділена на декілька однорідних k – ділянок (рис. 3), то подвійна магнітна енергія може бути розрахована за формулою [9]:

$$2W_M = \sum_k \mu_a \int_{V_k} H_\delta^2 dV_k, \quad (13)$$

де μ_a – абсолютна магнітна проникність середовища; V_k – об'єм; H_δ – напруженість магнітного поля в робочому проміжку.

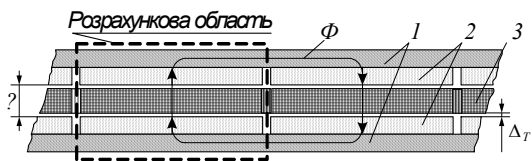


Рис. 4. Фрагмент МС двигуна

Подвійну енергію для розрахункової ділянки можна виразити як:

$$2W_M = \mu_a H_\delta^2 \delta \frac{\pi R_{cp}}{p} l_a, \quad (14)$$

де $H_\delta = \frac{IW}{\delta}$.

Підставляючи (14) в (12), отримаємо:

$$T_{el} = \frac{\mu_a W^2 \delta \pi R_{cp} l_a}{4 p \delta^2 R}. \quad (15)$$

Наприкінці наведемо чисельну оцінку добротності ЕМ в довготривалому режимі при таких параметрах:

$$j_{mp} = 15 \cdot 10^6 \frac{A}{m}; h_{cu} = 5 \cdot 10^{-3} m; l_\theta = 5 \cdot 10^{-2} m;$$

$$k_3 = 0,5; l_a = 3,5 \cdot 10^{-2} m; R_{cp} = 4,5 \cdot 10^{-2} m;$$

$$R_\theta = 3 \cdot 10^{-3} m.$$

Для розрахунку індукції B_δ застосуємо закон повного струму для магнітного кола (рис. 4) і, враховуючи напрямки векторів магнітного поля, рівняння магнітного кола запишемо у вигляді:

$$2H_\delta \cdot \delta - 4H_M \cdot h_M = 0. \quad (16)$$

Враховуючи відомі рівняння кривої розмагнічування ПМ, зв'язку між B_δ і H_δ в повітрі [7] та приблизну рівність потоків ($\Phi_\delta \approx \Phi_M$):

– визначаємо індукцію B_δ у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} B_M &= B_R - \mu_0 \mu_M H_M \\ B_\delta &= \mu_0 \mu_\delta H_\delta \\ B_\delta \cdot S_\delta &= B_M \cdot S_M \end{aligned} \right\}, \quad (17)$$

$$B_\delta = \frac{B_R}{1 + \frac{\mu_M \delta}{2\mu_\delta h_M}}, \quad (18)$$

де B_R – залишкова індукція, B_M – магнітна індукція ПМ.

Розрахуємо за отриманою формулою (18) індукцію B_δ в залежності від величини робочого проміжку δ в даному випадку при $\delta = 6 \cdot 10^{-3} m$, $B_\delta = 0,56 Tл$. Отримане значення індукції B_δ в залежності від величини робочого проміжку δ (для МС с двобічним збудженням) за формулою (17) незначно відрізняється від зна-

чення магнітної індукції B_{δ} , отриманої експериментально [10]. Відносна похибка складає $6 \div 10$ %.

За отриманими формулами (8), (11) та (15) для даної конструктивної схеми розрахунок показав:

– добротність складала $\varepsilon = 16,02 \cdot 10^4 \frac{1}{c^2}$;

– електромеханічна стала $T_M = 0,2 \cdot 10^{-3} c$;

– електромагнітна стала $T_{el} = 0,8 \cdot 10^{-4} c$, що добре узгоджується з даними, отриманими експериментально (а саме: $\varepsilon = 10^4 \div 10^5 \frac{1}{c^2}$; $T_M = (0,1 \div 0,5) \cdot 10^{-3} c$;

$T_{el} = (0,5 \div 1) \cdot 10^{-4} c$ згідно з [6]).

Висновок

Отримані в статті формули для розрахунку добротності, електромеханічної та електромагнітних сталих часу дають можливість здійснювати оцінювання основних динамічних показників малопотужних МД на першій стадії проектної моделі двигуна, що є особливо важливим в інженерній практиці при проектуванні ЕМ.

Перелік посилань

1. Zhang Z., Profumo F., Tenconi A. Axial-flux versus radial-flux permanent-magnet // Electromotion. – 1996. – № 3. – P. 134–140.

2. Адволоткин Н. П., Вдовиков А. Г., Выплавин Ю. И. и др. Унифицированная серия вентиляльных двигателей с постоянными магнитами ДВУ для станкостроения и робототехники // Электротехника. – 1988. – № 2. – С. 37–40.

3. Овчинников И. Е., Лебедев Н. И. Бесконтактные двигатели постоянного тока. – Л.: Наука. Ленингр. отделение, 1979.

4. Управляемые бесконтактные двигатели постоянного тока / Н. П. Адволоткин, В. Т. Гращенков, Н. И. Лебедев и др. Л.: Энергоатомиздат, 1984.

5. Афонин А. А., Белый П. Н., Фурсенко С. Л. Исследование влияния реакции якоря в линейных магнитоэлектрических двигателях с управляемым токовым слоем // Техническая электродинамика. – 1993. – № 1. – С. 39–41.

6. Васильев Ю. К., Карпенко Б. К., Кравцов О. К., Мурашко В. А., Иванова И. Г. Двигатели постоянного тока с печатной обмоткой якоря // Электропромышленность и приборостроение. – 1964. – № 1.

7. Постников И. М. Проектирование электрических машин. – К.: Гостехиздат, 1960. – 910 с.

8. Чиликин М. Г., Сандлер А. С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.

9. Столов Л. И., Афанасьев А. Ю. Моментные двигатели постоянного тока. – М.: Энергоиздат, 1989.

10. Афонин А. А., Белый П. Н., Фурсенко С. Л. Магнитное поле в системах с высококоэрцитивными постоянными магнитами // Техническая электродинамика. – 1992. – № 4. – С. 48–53.

Поступила в редакцию 12.05.08 г.

В статье рассмотрены основные динамические показатели маломощных магнитоэлектрических двигателей дискового типа. Получены расчётные формулы для оценки добротности, электромеханической и электромагнитной постоянных времени на начальной стадии проектирования двигателей.

In clause the basic dynamic parameters low-power magnetoelectric of engines of a disk type are considered. The settlement formulas for an estimation of good quality, electromechanical and electromagnetic constant time at an initial stage of designing of engines are received.

УДК 621.313

И. А. Орловский, А. А. Синявский

Расчет моделей тиристорного электропривода постоянного тока на полиномиальных рекуррентных нейронных сетях

Разработаны методики расчета моделей нелинейных объектов на полиномиальных рекуррентных нейронных сетях по известной математической модели и по экспериментальным данным работы объекта. По этой методике составлена программа и выполнен расчет моделей для тиристорного электропривода постоянного тока с двигателем последовательного возбуждения.

Введение

Качественное управление электромеханическими объектами (которые, как правило, являются нелинейными и имеют изменяющиеся в процессе работы параметры) является сложной и актуальной задачей. Исследование и первоначальную отладку новых систем управления (СУ), а также корректировку настройки СУ в процессе работы электромеханических объектов (для обеспечения заданного качества управления) целесо-

образно является сложной и актуальной задачей. Исследование и первоначальную отладку новых систем управления (СУ), а также корректировку настройки СУ в процессе работы электромеханических объектов (для обеспечения заданного качества управления) целесо-

© И. А. Орловский, А. А. Синявский 2008 г.