

**ЕЛЕМЕНТИ СИНТЕЗУ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГУНА З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ**

**Постановка проблеми.** У сучасних регульованих електроприводах малої й середньої потужності останні декілька років все частіше застосовують вентильні двигуни (ВД) зі збудженням від високоенергетичних постійних магнітів (ПМ), наприклад, рідкісноземельних, або Nd-Fe-B. Численні конструктивні і техніко-експлуатаційні переваги ВД порівняно з існуючими типами електричних машин сприяють істотному розширенню протягом останнього часу виробництва ВД з ПМ провідними закордонними електромашинобудівними компаніями.

Вентильні двигуни, як відомо, представляють собою електромеханічну систему, складовими якої є електромашинна частина – електромеханічний перетворювач (ЕМП) – рис.1, електронний комутатор (ЕК) – рис. 2, давач положення ротора і система керування [1]. Завдяки високій надійності, відносній простоті конструктивного виконання та технології виробництва і можливості мікропроцесорного керування, ВД приваблюють розробників складних автоматизованих систем, робото-технічних комплексів, електроприводів транспортних засобів тощо.

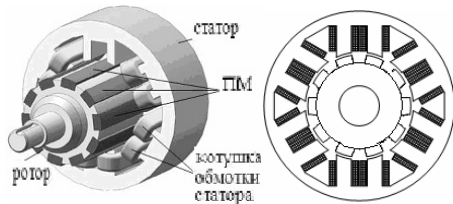


Рис.1. Конструкція ЕМП з ПМ на роторі

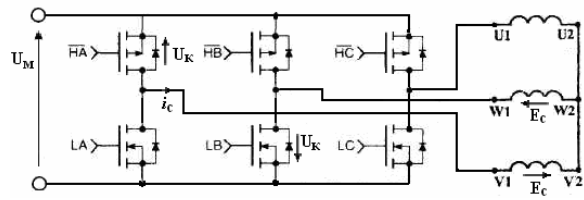


Рис.2. Схема силового електричного кола ВД

Прогнозоване розширення сфери використання ВД з ПМ стверджують актуальність задачі розрахунку таких двигунів.

**Метою роботи** є вдосконалення методики розрахунку основних геометричних розмірів ВД з ПМ та U-подібним статором і отримання відповідних співвідношень для основних його показників на етапі проектування.

**Матеріали досліджень.** Розрахунок ВД з постійними магнітами, як і будь-якої електричної машини, розділяється на дві частини: визначення основних розмірів і перевірний розрахунок. Основні розміри ВД із постійними магнітами залежать, як правило, від розмірів системи збудження. Методики розрахунку основних розмірів відомих типів електричних машин базуються на виборі величин електромагнітних навантажень (індукцій в окремих ділянках магнітного кола, лінійного навантаження, густини струму тощо), виходячи з досвіду проектування машин загальнопромислового призначення. Для ВД з ПМ такий досвід обмежений.

Враховуючи особливості конструкцій ВД із ПМ, на підставі теорії електромеханічного перетворення енергії, обґрунтуємо деякі рекомендації, які складуть основу проектування таких двигунів, зокрема, ВД із псевдо-U-подібним статором (рис.1). ЕМП такої конструкції поряд з так званою «класичною», можна вважати найбільш раціональними з погляду технології [2]. Конструкції з псевдо-U-подібним статором забезпечують кращі динамічні показники за менших індуктивності розсіяння та реакції якоря внаслідок практично повної магнітної ізоляції фаз, але кількість зубців ротора повинна бути достатньо великою, що може бути небажаним при використанні їх у ВД з високими швидкостями обертання. Також слід зауважити, що різні типи конструктивної побудови, а, отже, й організації шляхів замикання робочих магнітних потоків зумовили необхідність створення методик проектування ВД, які мають певні відмінності між собою. Зокрема, для конструкції з псевдо-U-подібним статором співвідношення між кількістю зубців статора і полюсів (постійних магнітів) ротора:

$$2p = Z_s \cdot \frac{2 \cdot m \pm 1}{2 \cdot m}; \quad Z_s = m \cdot q; \quad q = 4,6,8,\dots \quad (1)$$

де  $m$  - кількість секцій ВД. Тобто кількість полюсів при  $m = 3$  буде не менше 10, що змушує вибирати дещо більший діаметр ротора під час розрахунку ВД із відносно малим моментом на валу, щоб розмістити магніти.

Як правило, у технічному завданні на проектування ВД задають напругу живлення та момент, а тому пошук геометричних розмірів ВД та їх співвідношень здійснюють, відштовхуючись від значення заданого або визначеного з інших заданих значень величин моменту. Однак, варто нагадати, що електромагнітний момент ВД може бути пов'язаний з різними величинами залежно від вирішуваної задачі. На стадії ескізного проектування електромагнітний момент доцільно розглядати у зв'язку з основними розмірами ВД і електромагнітними навантаженнями. При технічному проектуванні потрібна залежність електромагнітного моменту від розмірів і обмотувальних даних, від форми і параметрів постійного магніту. Тут же необхідні оцінки стабільності моменту за часом і при зміні умов навколишнього середовища, а також пульсації моменту.

У [2], з урахуванням ряду допущень, отримано загальний вираз для моменту секції трифазного ВД з явнополюсним статором і ПМ на роторі, який без урахування дії реакції якоря можна записати у вигляді

$$M_c = c_M w_z \Phi_{\max} I_c \cdot 4p \sin \theta_c, \quad (2)$$

де  $w_z$  – кількість витків зубця секції статора;  $\Phi_{\max}$  – повний магнітний потік;  $I_c$  – струм секції;  $p$  – кількість

полюсів (магнітів);  $\lambda_\delta = \mu_0 \frac{ab}{\delta} + \mu_0 a g_{pa} + \mu_0 b g_{pb} + \mu_0 (a g_a + b g_b)$  – провідність повітряного проміжку;  $\lambda_\sigma$  –

провідність розсіяння;  $\lambda_m = \frac{B_r S_m}{H_{cf} h_m}$  – внутрішня провідність магніту;  $c_M = \left( \frac{\lambda_\delta}{\lambda_m + \lambda_\delta + \lambda_\sigma} \right)$  – коефіцієнт, який

залежить від геометрії зубцево-полюсної зони ВД та параметрів обраного постійного магніту;  $\theta$  – кут між осями зубця статора та магніту;  $a, b, \delta$  – ширина, довжина та висота повітряного проміжку;  $g_{pa}, g_{pb}$  – питомі магнітні провідності між ребрами зубця статора і постійного магніту ротора по їх ширині і довжині відповідно;  $g_a, g_b$  – питомі бокові провідності між зубцем секції і постійним магнітом для двох граней по їхній ширині і довжині відповідно;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  – відносна магнітна провідність;  $\Phi_{\max} = S_m B_r$ ;  $H_{cf}$  і  $B_r$  – коерцитивна сила за індукцією та залишкова магнітна індукція постійного магніту відповідно. Ці дві величини залежать від матеріалу, з якого виготовлений постійний магніт і вказані в його паспортних даних;  $h_m$  і  $S_m = a_m \cdot b_m$  – висота і площа основи постійного магніту полюса ротора та його ширина і довжина відповідно.

Згідно з [1] струм секції можна виразити в залежності від номінального моменту

$$I_c = \frac{\pi M_n}{\sqrt{3} \Phi_{\delta 0} w_z p m}, \quad (3)$$

де  $\Phi_{\delta 0}$  – магнітний потік взаємодукції.

З (2) випливає, що забезпечити необхідний момент двигуна можна за різних комбінацій значень максимального потоку  $\Phi_{\max}$  магніту, повного струму секції  $w_z I_c$  та коефіцієнта  $c_M$ , який залежить від геометрії зубцево-полюсної зони ВД (рис.3) і параметрів обраного постійного магніту.

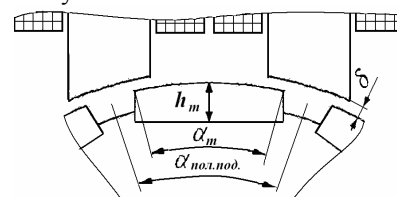


Рис. 3 Фрагмент поперечного перетину ВД

Оскільки проектування є ітераційною процедурою і необхідно, в залежності від завдання, прийняти попередні значення згаданих величин, розглянемо їх окремо. Як показують теоретичні та експериментальні дослідження, співвідношення між геометричними розмірами елементів зубцево-полюсної зони ВД з сучасними магнітами знаходяться в досить вузьких межах. Зокрема, оптимальні значення коефіцієнта полюсного перекриття статора знаходиться в межах,  $\alpha_s = (0,38 \div 0,42)$ , а коефіцієнта полюсного перекриття ротора – в межах  $\alpha_m = (0,75 \div 0,8)$ . Висота магніту, як правило, визначається з умови максимуму створюваної енергії у повітряному проміжку та мінімуму зубцевих моментів і в середньому у 2-3 рази більша за повітряний проміжок, який у свою чергу, вибирають значним. З огляду на вищенаведене, та враховуючи низькі значення магнітної провідності сучасних магнітних матеріалів, попередньо можна визначити  $c_M$ , виходячи з наведених міркувань.

Далі, вибирають значення величин, які входять до (1), визначають струм секції (3) та попереднє значення потоку магніту. Тобто, визначення діаметру індуктора можна розпочати з вибору індукції  $B_\delta$ , (а, отже, типу магніту та площі полюса  $S_m$ ) в повітряному проміжку для випадку, коли вісь полюса співпадає з серединою зубця. Попередньо оцінку початкового значення індукції  $B_\delta$  здійснюють з використанням діаграми вибраного типу магніту [1], керуючись обраними критеріями оптимальності.

Після визначення необхідного максимального потоку  $\Phi_{\max} = S_m B_r$ , ширини  $a_m$  та довжини  $b_m$  вибраного постійного магніту, знаходять діаметр ротора за простою формулою

$$D = 2p \frac{b_m}{\pi \alpha_m}. \quad (4)$$

Після попереднього вибору діаметру ротора, за методикою [2] уточнюють отриманий момент та у випадку істотного розходження із заданим, повторюють розрахунки за уточненими даними.

Отриманий вираз покладений в основу методики проектного розрахунку основних геометричних розмірів ВД з ПМ з псевдо-U-подібним статором.

Із використанням запропонованої методики спроектовано ВД з ПМ із такими даними: момент на валу  $M = 7,2$  нМ; номінальна швидкість обертання  $n = 750$  об/хв; напруга живлення  $U = 120$  В. Вибрано магніт типу  $\text{SmCo}_5$  з параметрами:  $\Phi_{\max} = 250$  мкВб;  $B_r = 1,1$  Тл;  $H_{cf} = 600$  кА/м. Спроекований та виготовлений двигун:  $U = 120$  В; діаметр розточки статора  $D = 90$  мм; аксіальна довжина ротора  $L = 40$  мм; кількість магнітів на роторі  $2p = 10$ ; розміри магніту  $h_m = 5$  мм;  $b_m = 8$  мм;  $a_m = 40$  мм, який забезпечує наступні параметри:  $M = 7,2$  нМ;  $n = 780$  об/хв.

**Висновки.** Результати проведених розрахунків із використанням математичної моделі, побудованої на основі запропонованої методики обчислення діаметра розточки статора ВД з ПМ, відповідають експериментальним даним, що свідчить про її адекватність.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ткачук В.І. Електромеханотроніка: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету „Львівська політехніка”, 2006. – 440 с.
2. Ткачук В.І., Василюк Р.К. Математична модель вентиляного двигуна з явнорозточним статором. – Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КДПУ, 2007.– Вип.1/2007.– с. 57-60.