

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ БЕЗКОЛЕКТОРНОГО ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Дудник О.С., студент, Красношарпа Н.Д., к.т.н., доцент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Зараз все більшу роль в малопотужних системах охолодження починають відігравати безколекторні двигуни постійного струму (BLDC – brushless direct current). Найбільш проблемний елемент двигунів постійного струму – щітково-колекторний вузол – в BLDC двигунах замінений інвертором, який здійснює комутацію струму за допомогою електронних ключів. Даний тип двигунів має значні переваги порівняно з класичними двигунами постійного струму, а саме підвищену надійність, відсутність іскріння під час роботи, низький рівень шуму, висока ефективність роботи, тривалий строк експлуатації, покращені умови охолодження [1,2]. Особливістю керування BLDC двигунами є необхідність виконання перемикачів ключів інвертора узгоджено з позицією ротора. Для цього використовуються як різноманітні датчики положення, так і системи бездавачевого керування [3]. Суттєвою проблемою, що обмежує застосування таких типів двигунів, є відсутність інформації щодо реальних параметрів електричної машини.

Метою даної роботи є навести процедуру експериментального визначення параметрів BLDC двигунів, необхідних для побудови системи керування .

Матеріали та результати досліджень. Першим з параметрів є активний опір двигуна. Для його визначення застосовується чотириточкова схема підключення вимірювальних приладів, представлена на рис. 1.

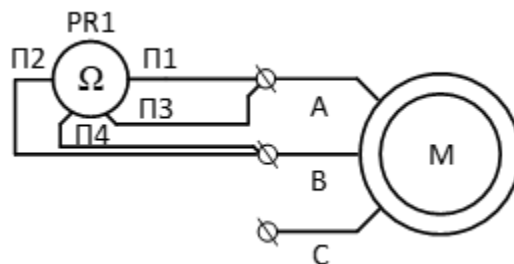


Рисунок 1 – Чотириточкова схема вимірювання опору

На вимірюваний опір через виводи П1, П2 подається певне значення напруги і вимірюється струм, що протікає через провідник. На виводах П3, П4 вимірюється значення напруги.

По закону Ома розраховується опір провідника:

$$R_d = \frac{U}{I}, \quad (1)$$

де R_d Ом – вимірюваний опір, U В – наруга на виводах ПЗ-4, I А – струм на виводах П1-2.

Аналіз отриманих значень опорів між різними фазами дозволяє виявити деякі дефекти в обмотках до запуску двигуна. Якщо опори між різними фазами двигуна суттєво відрізняються, це свідчить про несправність двигуна.

Лінійна індуктивність двигуна вимірюється по двоточковій схемі за допомогою приладу для вимірювання індуктивності, представлений на рис. 2.

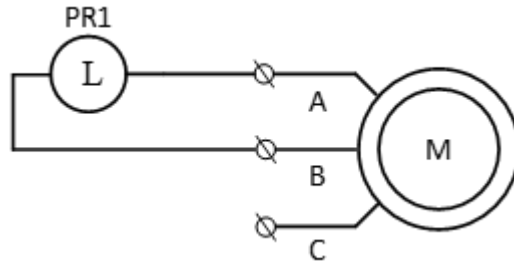


Рисунок 2 – Схема вимірювання лінійної індуктивності двигуна

Для більш точного моделювання двигуна необхідно додатково виміряти індуктивності двигуна по осям d та q . Для проведення таких вимірювань ротор двигуна попередньо повинен бути виставлений у відповідну позицію (в залежності від того, по якій осі буде здійснюватися вимірювання) та загальмований. Для того, щоб загальмувати двигун у заданому положенні, його підключають до джерела живлення за схемою на рис. 3, а (вимірювання індуктивності по осі d) або рис. 3, б (вимірювання індуктивності по осі q). Після встановлення ротора в необхідну позицію підключається вимірювальний прилад за схемою на рис. 3, в.

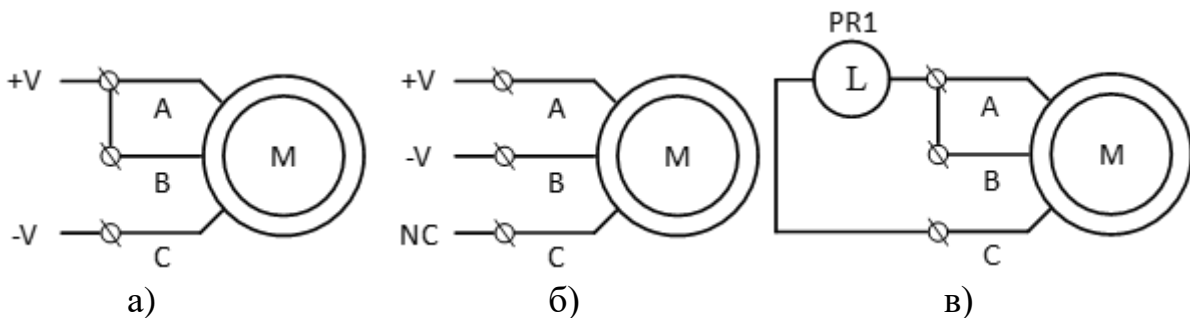


Рисунок 3 – Схеми підключення BLDC двигуна для вимірювання індуктивностей по осям d/q

Величина індуктивності двигуна може бути або виміряна спеціальним приладом, або розрахована за даними перехідного процесу зміни струму при ступінчастій зміні напруги. В останньому випадку двигун підключається до

регульованого джерела живлення, яке забезпечить протікання струму в обмотках нерухомого двигуна не більше номінального значення.,

Для знаходження фактичної індуктивності двигуна отримане значення індуктивності $L_{\text{вим}}$ перераховується за формулою:

$$L_{d/q} = \frac{2}{3} L_{\text{вим}}, \quad (2)$$

де $L_{d/q}$ Гн – індуктивність по осі d або q в залежності від положення ротору при вимірюванні.

Електромагнітна стала двигуна визначається за допомогою величини проти-ЕРС двигуна (M2) при обертанні його двигуном M1.

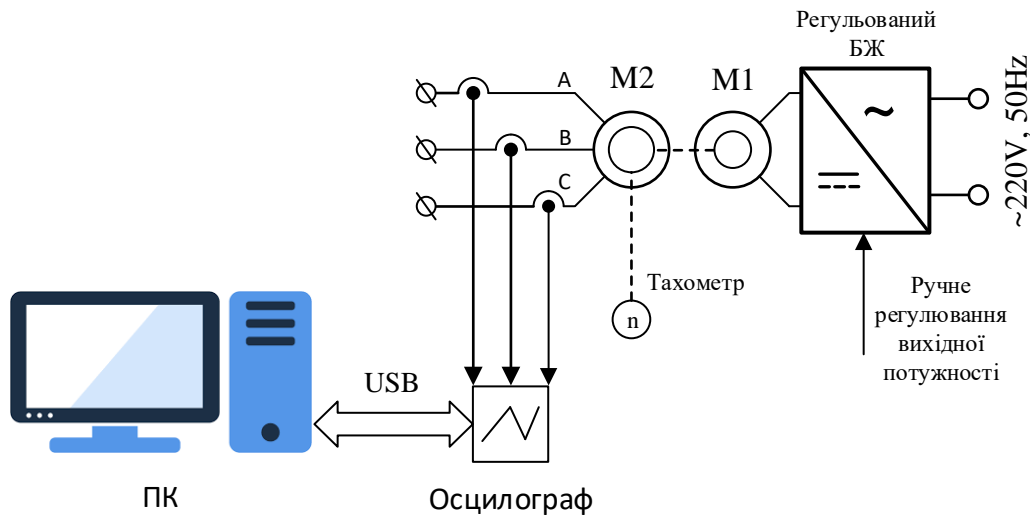


Рисунок 4 – Схема з'єднання двигунів для проведення дослідів

Після переходу двигуна M2 в усталений режим роботи, зберігаються дані залежності проти-ЕРС від часу та механічна швидкість обертання (в об/хв). У зв'язку з тим, що у проти-ЕРС можуть бути присутні вищі гармоніки, доцільно визначати амплітудне значення за формулою (3):

$$U_{\text{max}} = \frac{\sqrt{2}}{t_2 - t_1} \sqrt{\int_{t_1}^{t_2} U_{\phi}^2 dt}, \quad (3)$$

де U_{max} [В] – амплітуда проти-ЕРС, U_{ϕ} [В] – фазна проти-ЕРС (використовується фаза А, але можливо використання будь-якої іншої фазної напруги).

Тоді електромагнітна стала двигуна визначатиметься за формулою (4):

$$k_e = \frac{30U_{\max}}{\pi n}, \quad (4)$$

де k_e [В/(рад/с)] – електромагнітна константа, n [об/хв] – частота обертання двигуна.

Використовуючи дані попереднього дослідження можна визначити також кількість пар полюсів двигуна. Для цього потрібно визначити частоту коливань проти-ЕРС коли двигун обертався на усталеній швидкості. Для визначення кількості пар полюсів найбільш ефективно буде скористатися формулою (5):

$$\omega_{\text{мех.}} = \frac{2\pi f_{\text{ел.}}}{p_n}, \quad \omega_{\text{мех.}} = \frac{\pi n}{30}, \quad (5)$$

де $\omega_{\text{мех.}}$, [рад/с] – швидкість обертання валу двигуна, $f_{\text{ел.}}$ [Гц] – частота струму статора, p_n [од.] – кількість пар полюсів двигуна, n [об/хв] – частота обертання двигуна, яка визначається за показами тахометра.

Тоді формула для експериментального визначення кількості пар полюсів наступна:

$$p_n = \frac{60f_{\text{ел.}}}{n}. \quad (6)$$

Висновки. Представлена в статті методика дозволяє здійснювати експериментального визначення параметрів BLCD двигунів, необхідні для подальшого проектування системи керування. Це дасть можливість створювати сучасні системи електроприводів з даними типами двигунів, в тому числі й системи бездавачевого керування BLCD двигунами.

Перелік посилань

1. T.M. Jahns, "Motion Control with Permanent-Magnet AC Machines," Proc. IEEE, Vol. 82, pp. 1241–1252, August 1994.
2. T.J.E. Miller and R. Rabinovici, "Back-EMF Waveforms and Core Losses in Brushless DC Motors," IEEE Proc. on Electronic Power Applications, Vol. 141, pp. 144–154, May 1994
3. F. A. Silva, "Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, Third Edition," in IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 12, no. 4, pp. 46-48, Dec. 2018, doi: 10.1109/MIE.2018.2874371.