

УДК 681.518.22

*А.В. Хворостян, В.І. Савенко, Є.М. Яковенко, студенти гр. ПГ-п91,
к.т.н., доц. Заморський О.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЯК ВИКОНАВЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ

Анотація. В даній статті приведені результати експериментальних досліджень регульовальних та механічних характеристик мікродвигунів постійного струму з постійними магнітами з якірним керуванням як виконавчих елементів приводу малогабаритної лабораторної обертової платформи. Представлена методика експериментального визначення параметрів мікродвигунів постійного струму, в тому числі через непрямі вимірювання. Визначаються реальні номінальні параметри мікродвигунів постійного струму ДМ-1,6-8 при нормальних навколишніх умовах (+20°C), оцінюється зміна електричного опору обмоток ротора (якоря) від їх самонагрівання при збільшенні значень номінальної напруги і навантаження та зміна моментів тертя при збільшенні номінальних обертів. По результатам дослідження наведені рекомендації щодо застосування мікродвигунів постійного струму ДМ-1,6-8 в автоматизованих лабораторних пристроях.

Ключові слова: виконавчі елементи автоматизованих систем; мікродвигуни постійного струму; регульовальні та механічні характеристики керованих мікродвигунів; малогабаритні автоматизовані лабораторні пристрої.

ВСТУП

Електричні приводи автоматизованих систем є чи не найпоширенішими в приладобудуванні через їх якісні властивості, в першу чергу через гнучкість характеристик керування, яка значно зросла з розвитком комп'ютерно-інтегрованих технологій. Такі приводи забезпечують широкий діапазон обертових моментів, швидкостей та потужностей. Серед електричних машин мікродвигуни постійного струму вирізняються лінійними регульовальними і механічними характеристиками, що значно спрощує керування. Для належного вибору мікродвигунів необхідне знання їх технічних характеристик, які не завжди повно представлені в супровідній технічній документації. Наприклад, інформація про мікродвигун постійного струму ДМ-1,6-8 (розробка СРСР), який через високі експлуатаційні характеристики довгий час застосовується в приладобудуванні, вичерпується наступними характеристиками: номінальні значення обертів $n_{\text{ном}} = 8000$ об/хв, обертового моменту $M_{\text{ном}} = 1,96$ мН·м, вихідної потужності $P_{2\text{ном}} = 1,6$ Вт, струму $I_{\text{ном}} = 0,3$ А; ефективність $\eta = 20\%$; напруга живлення $U_{\text{ж}} = 27$ В. В процесі експлуатації мікродвигунів для належного керування необхідно чітко контролювати параметри, які можуть змінюватися через зміну енергетичних та механічних навантажень (нагрівання обмоток ротора, зміна моментів тертя, тощо) та через їх обмежений ресурс. В роботі представлені методика експериментального визначення характеристик мікродвигунів постійного струму, результати дослідження мікродвигунів ДМ-1,6-8 та оцінка їх властивостей і можливостей як виконавчих елементів автоматизованих лабораторних пристроїв.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Досліджувались три мікродвигуни ДМ-1,6-8 в таких режимах: холостого ходу і короткого замикання; в складі приводу з редуктором, утвореним зубчатою і черв'ячною передачами; в складі обертової платформи з конічним валом, пов'язаним з редуктором через компенсаційну муфту; в робочому режимі з корисним навантаженням на платформі (див. рис. 1) [1].

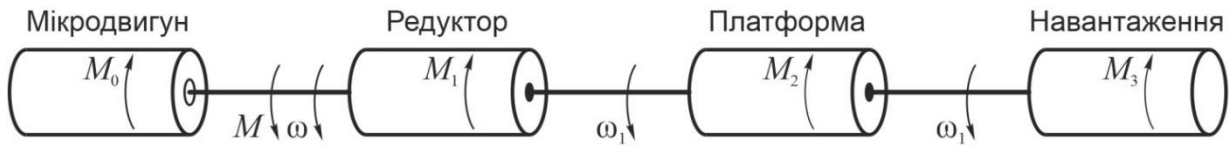


Рисунок 1. Еквівалентна схема приводу обертової платформи

Рівняння обертових моментів та швидкостей приводу в усталеному режимі:

$$M = M_0 + M_1 + M_\Sigma = M_0 + M_1 + \frac{i_1}{\eta_1}(M_2 + M_3); \quad \omega = \frac{1}{i_1}\omega_1; \quad (1)$$

$$i_1 = i_{зп} i_{чп}; \quad i_{зп} = \frac{20}{40}; \quad i_{чп} = \frac{2}{64}; \quad \eta_1 = \eta_{зп} \eta_{чп}; \quad \eta_{зп} = 0,97 \div 0,99; \quad \eta_{чп} \leq 0,90;$$

де: M – момент, приведений до валу мікродвигуна; M_0, M_1, M_2, M_3 – моменти тертя мікродвигуна, редуктора, платформи та від навантаження на платформу відповідно; $i_1, \eta_1, i_{зп}, \eta_{зп}, i_{чп}, \eta_{чп}$ – передатні відношення та ефективність редуктора, зубчатої та черв'ячної передач редуктора відповідно.

Мікродвигуни досліджувались в широкому діапазоні номінальної напруги, від напруги зрушення U_0 ротора до напруги живлення $U_{ж} = 27$ В. В кожному режимі вимірювались миттєві значення: U – напруги на обмотках якоря; I – струму в обмотках якоря; P – вхідної (споживаної) потужності; n – кількості обертів валу мікродвигуна за хвилину; I_H – струму короткого замикання.

В якості джерела живлення електричного приводу застосовано потужний блок живлення Б5-7 (розробка СРСР). Інформаційний супровід експериментів забезпечено апаратно-програмними засобами в складі датчика напруги, струму і потужності на основі сенсора INA219 з нульовим дрейфом і послідовним інтерфейсом I2C (розробка Texas Instruments, США), датчика обертів на основі трансмісійного фотомікросенсора EE-SX1103 (розробка Omron Electronic Components, США), плата Arduino Uno Rev.3 (розробка Arduino Software, Італія) з мікроконтролером Atmel AVR (розробка Atmel Corporation, США).

Через непрямі вимірювання визначались миттєві значення параметрів: $R_{я}$ – електричного опору обмоток якоря (опором щіток нехтувалось); E, I_E – напруги та струму зворотної електрорушійної сили в обмотках якоря; M – обертового моменту валу мікродвигуна, з якого, враховуючи різні режими випробовувань, можна визначити моменти тертя M_0, M_1, M_Σ (згідно рівняння 1); P_2 – вихідної (механічної) потужності; η – ефективності (коефіцієнта корисної дії) [2]:

$$R_{я} = \frac{U_0}{I_0}; \quad R_{я} = \frac{U}{I_H}; \quad E = U - IR_{я}; \quad I_E = I_H - I; \quad P_2 = EI = UI - I^2 R_{я}; \quad (2)$$

$$M = \frac{P_2}{\omega} = \frac{UI - I^2 R_{я}}{n} \cdot \frac{60}{2\pi}; \quad \eta = \frac{P_2}{P} \cdot 100\%.$$

Всі вимірювання здійснювались з частотою 1 Гц. Значення параметрів визначались як середні за певний проміжок часу – довший при зрушенні ротора і низьких обертах, коротший при короткому замиканні і високих обертах. Точність вимірювання і визначення параметрів в широкому діапазоні вимірюваних параметрів, залежно від діапазону значень, складала від 1% до 12% (відносний розкид значень), при цьому можливе апаратне і програмне

калібрування датчиків не застосовувалось. Проте, застосована методика та проведені експериментальні дослідження дозволяють зробити певну якісну і кількісну оцінку досліджуваних мікродвигунів як виконавчих елементів автоматизованих лабораторних пристроїв.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вирішальне значення для точності визначення непрямыми вимірюваннями характеристик мікродвигуна має визначення електричного опору $R_{\text{я}}$ якоря (див. рис.2 та рівняння (1)), який прямими вимірюваннями неможливо визначити через невизначеність електричного опору контактної системи щітка-колектор. Значення опору $R_{\text{я}}$ визначалось при напрузі зрушення U_0 ротора мікродвигуна та при короткому замиканні, коли струм $I_{\text{н}}$ в обмотках якоря максимальний (для мікродвигуна ДМ-1,6-8 коротке замикання протягом короткочасних досліджень не є критичним завдяки високим експлуатаційним характеристикам стійкості).

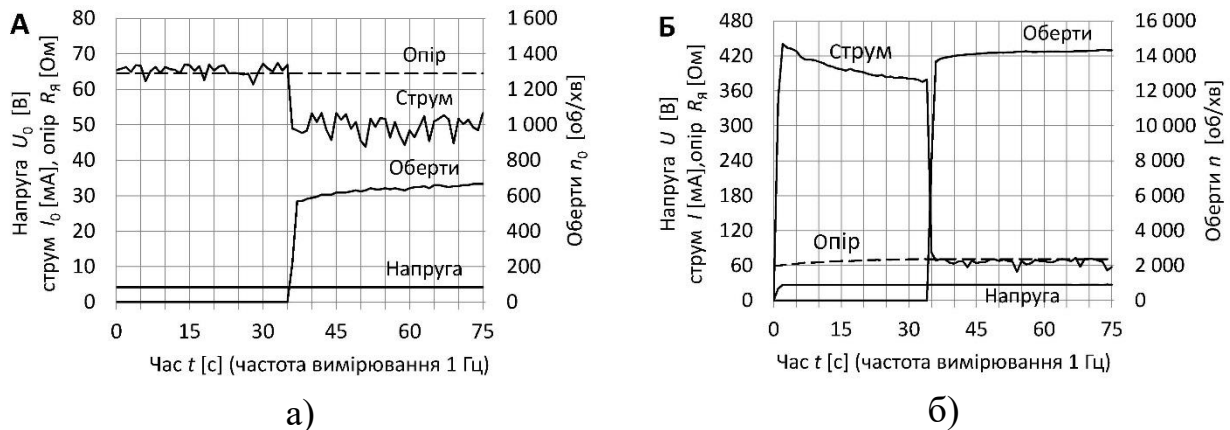


Рисунок 2. До визначення електричного опору $R_{\text{я}}$ обмотки якоря мікродвигуна при зрушенні ротора при пуску мікродвигуна (а) та при короткому замиканні (б)

При зрушенні ротора при напрузі U_0 струм I_0 в обмотках якоря постійний, опір $R_{\text{я}}$ не змінюється (див. рис. 2.а), при збільшенні номінальної напруги опір $R_{\text{я}}$ збільшується, а струм I зменшується аперіодично (див. рис. 2.б).

При визначенні обертових моментів M (див. (1) і (2)), тобто, залежно від режимів випробовування, моментів тертя M_0, M_1, M_{Σ} , встановлено, що момент тертя збільшується з збільшенням обертової швидкості при збільшенні номінальної напруги (див. рисунок 3). Встановлення фізичної природи такої зміни (вплив в'язкого тертя при застосуванні мастил чи опору повітря, тощо) потребує окремих ретельних досліджень. Необхідно також

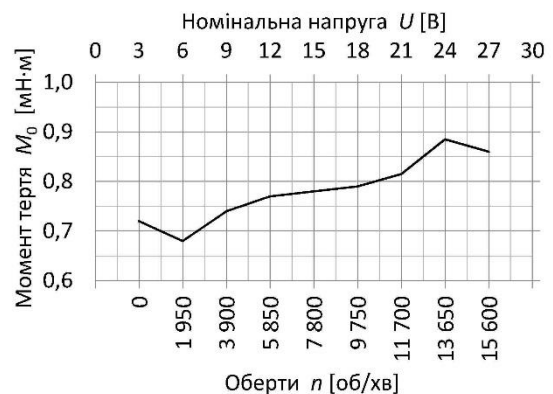


Рисунок 3. Момент тертя мікродвигуна

відзначити досить значні значення пускового струму I_0 та моменту тертя M_0 , від 0,5 до 0,8 мН·м, для всіх досліджуваних мікродвигунів, що пов'язано, можливо, з відпрацюванням значного ресурсу та зі зносом контактних елементів мікродвигуна (для сучасних мікродвигунів такого класу ці значення, зазвичай,

на порядок нижче [3]).

По результатам експериментальних досліджень побудовані графічні характеристики мікродвигунів ДМ-1,6-8 при апроксимації (лінеаризації) виміряних і визначених параметрів для номінальної напруги, яка є напругою живлення: $U = U_{ж} = 27$ В (див. рис. 4). На діаграмі також вказані номінальні значення параметрів мікродвигуна при роботі з редуктором (див. рис.4., лінія «А») та в складі приводу обертової платформи (див. рис.4, лінія «Б»), а також робочі номінальні параметри, які вказані в технічній документації на мікродвигун (приведено у вступі та на рис. 4, лінія «В»).

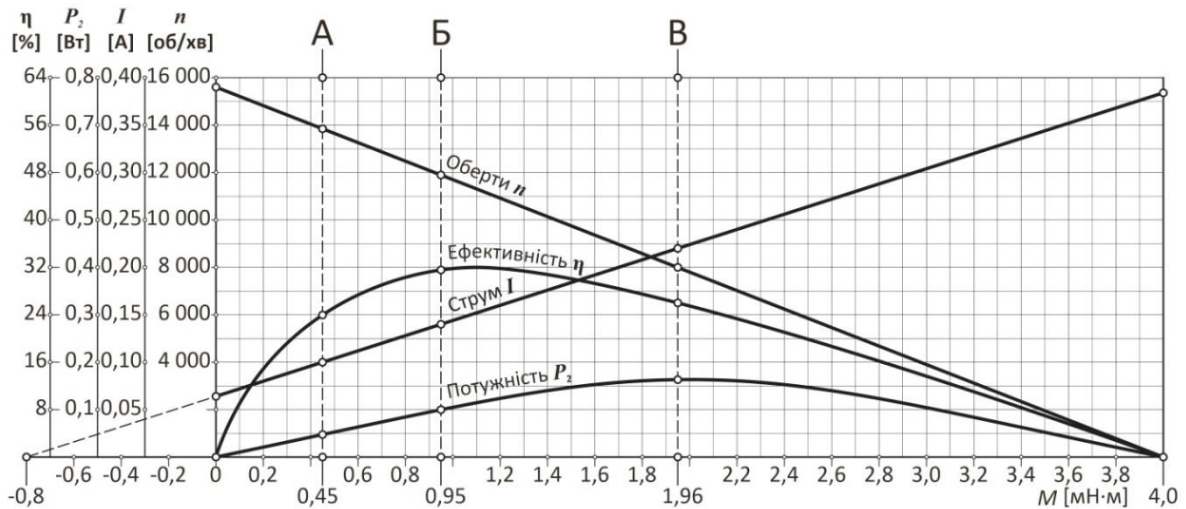


Рисунок 4. Характеристики мікродвигуна ДМ-1,6-8 № 1 при номінальній напрузі $U = 27$ В

ВИСНОВКИ

Мікродвигуни постійного струму ДМ-1,6-8 можуть бути застосовані в автоматизованих лабораторних пристроях як виконавчі елементи, призначені для роботи в діапазоні обертових моментів, швидкостей та потужностей, визначених вище (рис.4). Для прецизійних лабораторних пристроїв, яким потенційно є досліджувана обертова платформа, рекомендується вибрати і дослідити інший мікродвигун, зі значно меншими значеннями моменту тертя, теплового опору, тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] О. В. Заморський. «Електромеханічне забезпечення лабораторного стенду для дослідження статичних і динамічних характеристик мікромеханічних датчиків». *Збірник тез XIX Міжн. науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи»*. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – С. 15-16.
- [2] Ю. В. Степанковський *Перетворюючі пристрої приладів. Електродвигуни*. К.: «Корнійчук», 2002. – 207 с.
- [3] Technical Information by Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. 17th edition. – 2020. Режим доступу: https://www.faulhaber.com/fileadmin/Import/Media/EN_TECHNICAL_INFORMATION.pdf

Наук. керівник – к.т.н., доц. Заморський О.В.