

СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МІКРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИ НАВАНТАЖЕННІ

Стуліщенко А.С., Ph.D., асистент, Шацький І.О., Уросов В.В., Горбонос Д.С., студенти

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. У сучасній мікромеханіці та робототехніці постійно зростає попит на високоефективні електричні мікродвигуни, здатні працювати у вузьких теплових і енергетичних межах. Через малі габарити активні опори обмоток таких машин істотно вищі, ніж у двигунів середньої та великої потужності, тож $I^2 r$ –втрати набувають домінуючого значення.

Мета роботи. Полягає у розробленні узагальненого аналітичного апарату, який точно описує статичні характеристики мікродвигунів постійного струму з паралельним і послідовним збудженням з урахуванням самонагріву обмоток.

Матеріали і результати досліджень. Оскільки активні опори обмоток мікромашин досить великі, збільшення втрат у цих обмотках при підвищенні їхньої температури має значну величину. Підвищення температури обмоток під час навантаження спричиняє зростання їхнього опору, що, своєю чергою, веде до збільшення втрат і, відповідно, до подальшого підвищення температури [1-5].

Струм, який споживає двигун постійного струму паралельного збудження з мережі, визначається рівнянням

$$I = \frac{U' - c \Phi n}{r_0}. \quad (1)$$

Приймаючи температуру обмоток якоря та додаткових полюсів однаковою, одержимо залежність r_σ від температури у вигляді

$$r_\sigma = r_{\sigma 1} [1 + \alpha_1 (\Theta - \Theta_1)], \quad (2)$$

де Θ_1 – температура обмотки за $I = 0$ (від втрат холостого ходу); Θ – температура обмотки під час навантаження.

Перегрів міді (підвищення температури)

$$\Delta \Theta_{Cu} = \Theta - \Theta_1$$

пов'язується з втратами так:

$$\Delta \Theta_{Cu} = \frac{I^2 r_\sigma}{\lambda_{a1}} = \frac{I^2 r_{\sigma 1} (1 + \alpha_1 \Delta \Theta_{Cu})}{\lambda_{a1}}, \quad (3)$$

де λ_{a1} — теплопровідність від міді до охолоджувального середовища.

Коефіцієнт температурної залежності опору

$$\alpha_1 = \frac{1}{235 + \Theta_1}. \quad (4)$$

Розв'язавши (3), отримаємо

$$\Delta \Theta_{Cu} = \frac{I^2 r_{\sigma 1}}{\lambda_{a1} \left(1 - \frac{I^2 r_{\sigma 1} \alpha_1}{\lambda_{a1}} \right)}, \quad (5)$$

де $\Delta \Theta_{Cu}$ — перегрів міді обмотки.

Рівняння (5) набуде вигляду

$$\Delta\vartheta_{Cu} = \frac{i^2}{1 - i^2\alpha'_1}. \quad (6)$$

$$r_{\sigma} = r_{\sigma 1}(1 + \alpha'_1 \Delta\vartheta_{Cu}). \quad (7)$$

Підставивши у (7) значення $\Delta\vartheta_{Cu}$ з (6) й виразивши r_{σ} у відносних величинах, дістанемо

$$r_{\sigma} = \frac{r_{\sigma 1}}{1 - \alpha'_1 i^2}. \quad (8)$$

Розв'язавши одночасно (1), (6) та (7) і ввівши відносні (безрозмірні) величини, дістаємо залежність

$$\frac{i}{1 - i^2\alpha'_1} = i_k(u' - e_N \bar{n}). \quad (9)$$

Залежність між відносними величинами струму i та швидкості обертання $\bar{n}$ для різних значень α_1 (двигун паралельного збудження) наведено на рис. 1.

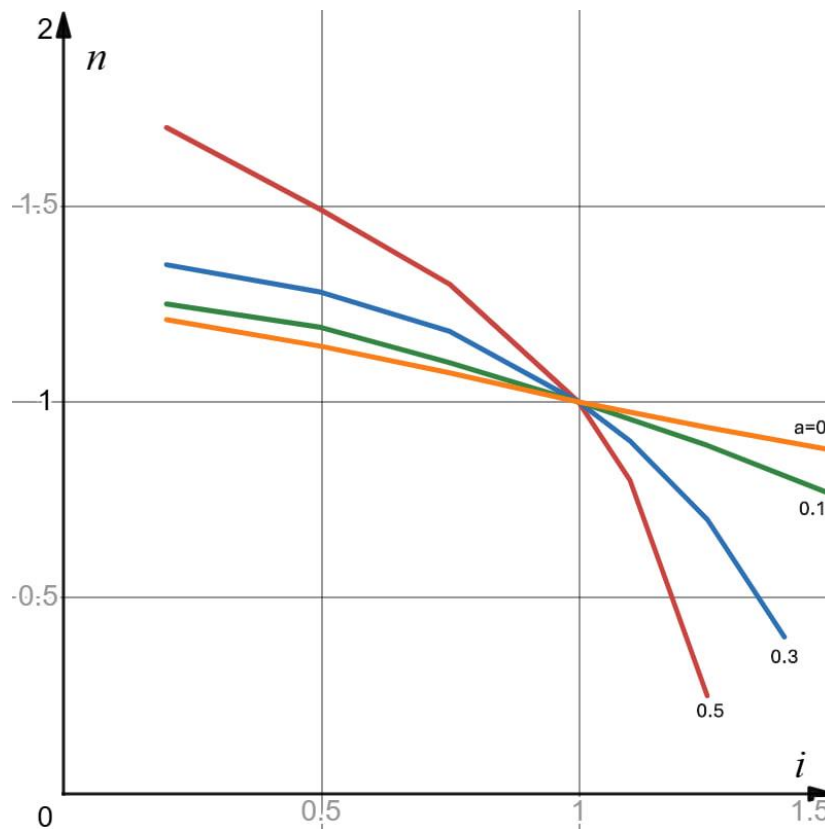


Рисунок 1 – Графік залежності між відносними величинами струму i та швидкості обертання $\bar{n}$ для різних значень α_1

Корисна (механічна) потужність двигуна у відносних одиницях визначається як

$$\bar{P}_2 = \bar{P}'_2 - \bar{M} \bar{n} - \bar{M} c_m \bar{n}. \quad (10)$$

Залежність між корисною потужністю на валу мікродвигуна паралельного збудження та його струмом для різних значень α'_1 наведена на рис. 2.

Як видно з кривих, за досить великих значень α'_1 корисна потужність двигуна досягає максимуму при певному значенні струму.

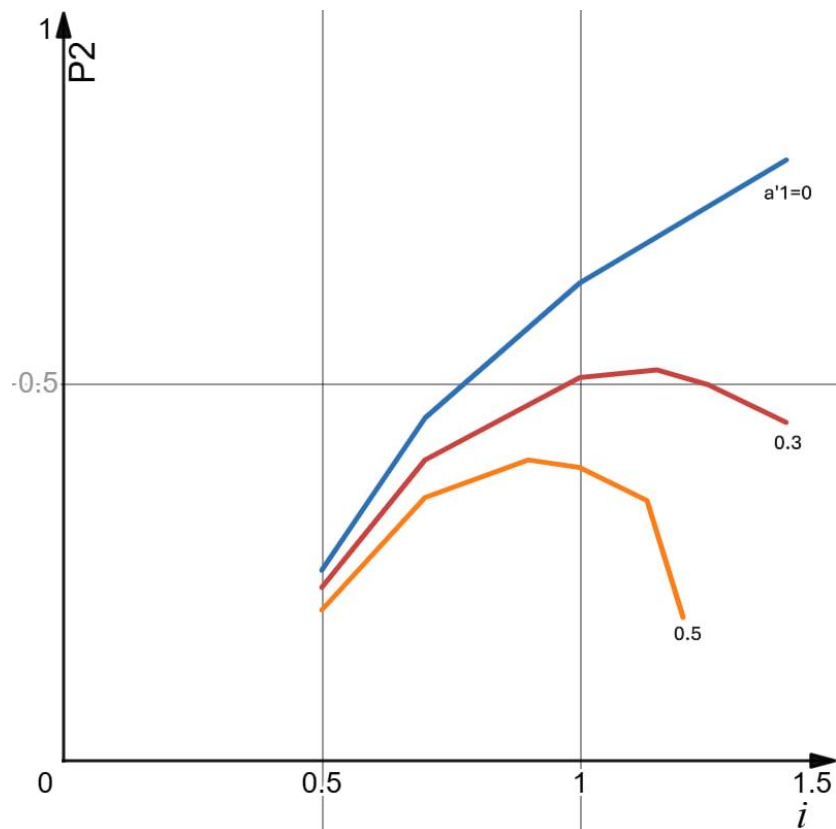


Рисунок 2 – Графік залежності між корисною потужністю на валу мікродвигуна паралельного збудження та його струмом для різних значень α'_1

Висновок. У цій роботі вперше системно проаналізовано статичні характеристики мікродвигунів постійного струму з урахуванням самонагріву обмоток під навантаженням. Запропонована аналітична модель – від рівняння струму (1) до узагальнених безрозмірних залежностей (6)–(10) – показує, як зростання температури міді через I^2r -втрати підвищує активний опір кола якоря, що своєю чергою знижує швидкість обертання, крутний момент і корисну потужність.

Побудовані графіки (рис. 1–2) дозволяють швидко оцінити оптимальний робочий режим: перетин кривих потужності й перегріву дає температуру обмоток, що відповідає максимальній корисній потужності, а також показує запас щодо термічної стійкості.

Перелік посилань

1. Ковальов О. І., Малишев М. Г. Теплові процеси в електричних машинах. — К.: Техніка, 1990.
2. Косачов В. П. Расчёт и проектирование микродвигателей постоянного тока. — Л.: Машиностроение, 1982.
3. <https://webstore.iec.ch/en/publication/65446> - IEC 60034-1:2022 Rotating electrical machines — Part 1: Rating and performance. — Geneva: International Electrotechnical Commission, 2022.
4. ДСТУ EN 60034-6:2016. Машини обертові. Методи охолодження. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
5. Грачов К. В. Електричні машини: підручник. — 2-ге вид., переробл. — Харків: НТУ «ХПІ», 2012.