

# ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ЧАСТОТНОГО ТА ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ МОМЕНТОМ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Коляска А.Г., магістрант, Ковбаса С.М., к.т.н., доц.

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

**Вступ.** Останнім часом існує стійка тенденція до заміни двигунів постійного струму на двигуни змінного струму не тільки в промисловості, а й в електротранспорті. Електротранспорт має ряд переваг над традиційним транспортом з двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ), зокрема: відсутність шкідливих викидів в атмосферу; високий ККД, до 96%, в той час як у ДВЗ 35-40%; кращі характеристики крутного моменту та потужності, завдяки чому електротранспорт може розганятися значно швидше; відсутність коробки передач, глушника, паливного бака, стартера, генератора, свіч запалювання; енергія подається тільки тоді, коли вона потрібна споживачу.

В електротранспорті широко використовується асинхронний двигун (АД) оскільки він має високу надійність, просту конструкцію, низьку вартість. Актуальною є задача регулювання моменту приводних двигунів, яка може вирішуватися за допомогою методів частотного і векторного керування [1]. Кожен алгоритм має свої переваги і недоліки [2]. Частотне керування є більш простим у порівнянні з векторним, не вимагає значної кількості параметрів двигуна, проте недоліками його є низька енергоефективність, оскільки втрати активної потужності є: більшими ніж при векторному керуванні; асимптотичність відпрацювання моменту порушується, що призводить до режимів руху, що не є бажаними для транспорту. До переваг векторного керування відносяться: асимптотичність відпрацювання моменту, що дозволяє забезпечити необхідні динамічні режими транспорту; висока точність регулювання швидкості і моменту на валу двигуна, а також високий ККД за рахунок зменшення втрат на активних опорах обмоток.

**Мета роботи.** Виконати порівняння статичних характеристик електромеханічних систем побудованих на основі класичного методу частотного керування моментом і непрямого векторного керування, з метою виявлення особливостей застосування алгоритмів частотного керування в тягових електроприводах.

**Матеріали і результати досліджень.** Для моделювання систем керування АД прийнято використовувати математичну модель, яка записується в стаціонарній системі координат (a-b) [3]. Алгоритми векторного керування АД, як правило, проектуються та записуються в синхронній системі координат (d-q), яка обертається відносно стаціонарної системи координат з швидкістю  $\omega_0$ . Нижче приведені рівняння для кожного методу.

*Частотне керування моментом.*

$$u_{1d} = \alpha_1 \psi_1^*, \quad (1)$$

$$u_{1q} = \omega_0 \psi_1^*,$$

$$\omega_0 = \omega p_n + \alpha L_m \frac{M^*}{\mu_1 (L_m \psi_1^* / L_1)^2}, \quad (2)$$

де  $\psi_1^*$  – задане потокозчеплення статора,  $\omega$  – кутова швидкість ротора,  $\mu_1 = 3L_m p_n / 2L_2$ ,  $\alpha = R_2 / L_2$ ,  $\alpha_1 = R_1 / L_1$ ,  $M^*$  – заданий момент,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  – опори й індуктивності статора і ротора відповідно,  $L_m$  – індуктивність намагнічуючого контуру,  $p_n$  – число пар полюсів.

Алгоритму частотного керування відповідає структурна схема, представлена на Рис. 1.

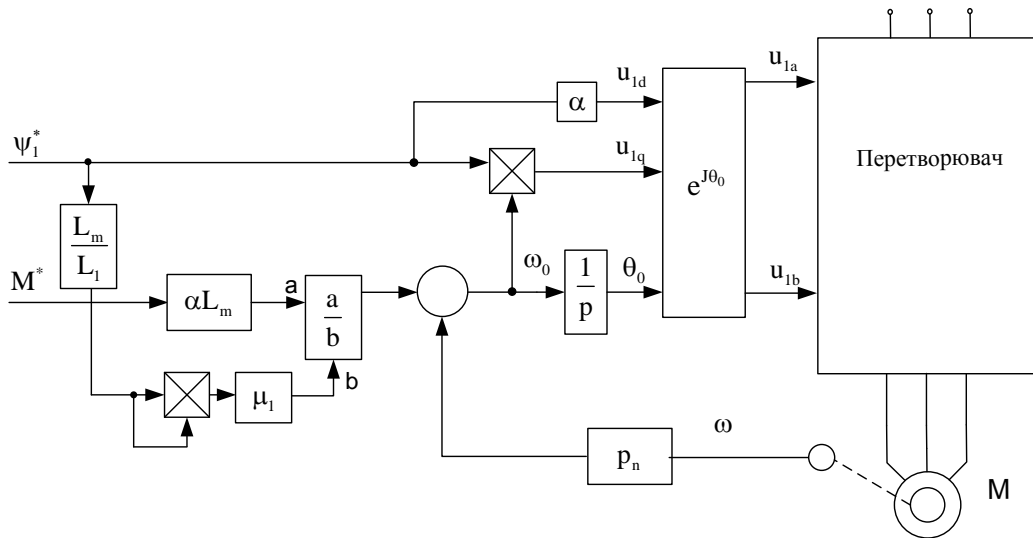


Рисунок 1 – Структурна схема частотного керування

Структура алгоритму непрямого векторного керування містить:

- розімкнутий регулятор модуля вектора потокозчеплення

$$i_{1d}^* = \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \psi^* + \dot{\psi}^*), \quad \omega_0 = \omega p_n + \alpha L_m \frac{i_{1q}^*}{\psi^*}, \quad (3)$$

- регулятор струму по осі (d) (польової складової струму статора)

$$u_{1d} = \sigma (\gamma i_{1d}^* - \omega_0 i_{1q} - \alpha \beta \psi^* + \dot{i}_{1d}^* - k_i \tilde{i}_{1d} - x_d), \quad (4)$$

$$\dot{x}_d = k_{ii} \tilde{i}_{1d},$$

- регулятор моменту

$$i_{1q}^* = \frac{M^*}{\mu_1 \psi^*} \quad (5)$$

- регулятор струму по осі (q) (моментної складової струму статора)

$$u_{1q} = \sigma (\gamma i_{1q}^* + \omega_0 i_{1d} + \beta \omega p_n \psi^* + \dot{i}_{1q}^* - k_i \tilde{i}_{1q} - x_q), \quad (6)$$

$$\dot{x}_q = k_{ii} \tilde{i}_{1q},$$

де  $u_{1d}$  та  $u_{1q}$  – компоненти векторів напруги статора по осі (d) та (q),  $\psi^*$  – задане значення модуля вектора потокозчеплення ротора,  $i_{1d}$  та  $i_{1q}$  – компоненти векторів струму статора по осі (d) та (q),  $\tilde{i}_{1d} = i_{1d} - i_{1d}^*$  та  $\tilde{i}_{1q} = i_{1q} - i_{1q}^*$  – похибки відпрацювання струмів по осі (d) та (q),  $(k_i, k_{ii}) > 0$  – коефіцієнти пропорційної та інтегральної складових регуляторів струму. Додатні константи, що відносяться до електричних і механічних параметрів АД, визначені в такий спосіб

$$\sigma = L_1 \left( 1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right), \quad \beta = \frac{L_m}{\sigma L_2}, \quad \gamma = \left( \frac{R_1}{\sigma} + \alpha L_m \beta \right).$$

На Рис. 2 показані статичні характеристики систем частотного та векторного керування моментом, отримані методом математичного моделювання. При дослідженні використовувався АД потужністю 2.2 кВт з параметрами:  $M_n = 15$  Нм,  $p_n = 2$ ,  $R_1 = 3.5$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом,  $L_1 = L_2 = 0.28$  Гн,

$L_m = 0.2709$  Гн. Параметри налаштування алгоритму векторного керування встановлено рівними  $k_i = 700$ ,  $k_{ii} = 125000$ .

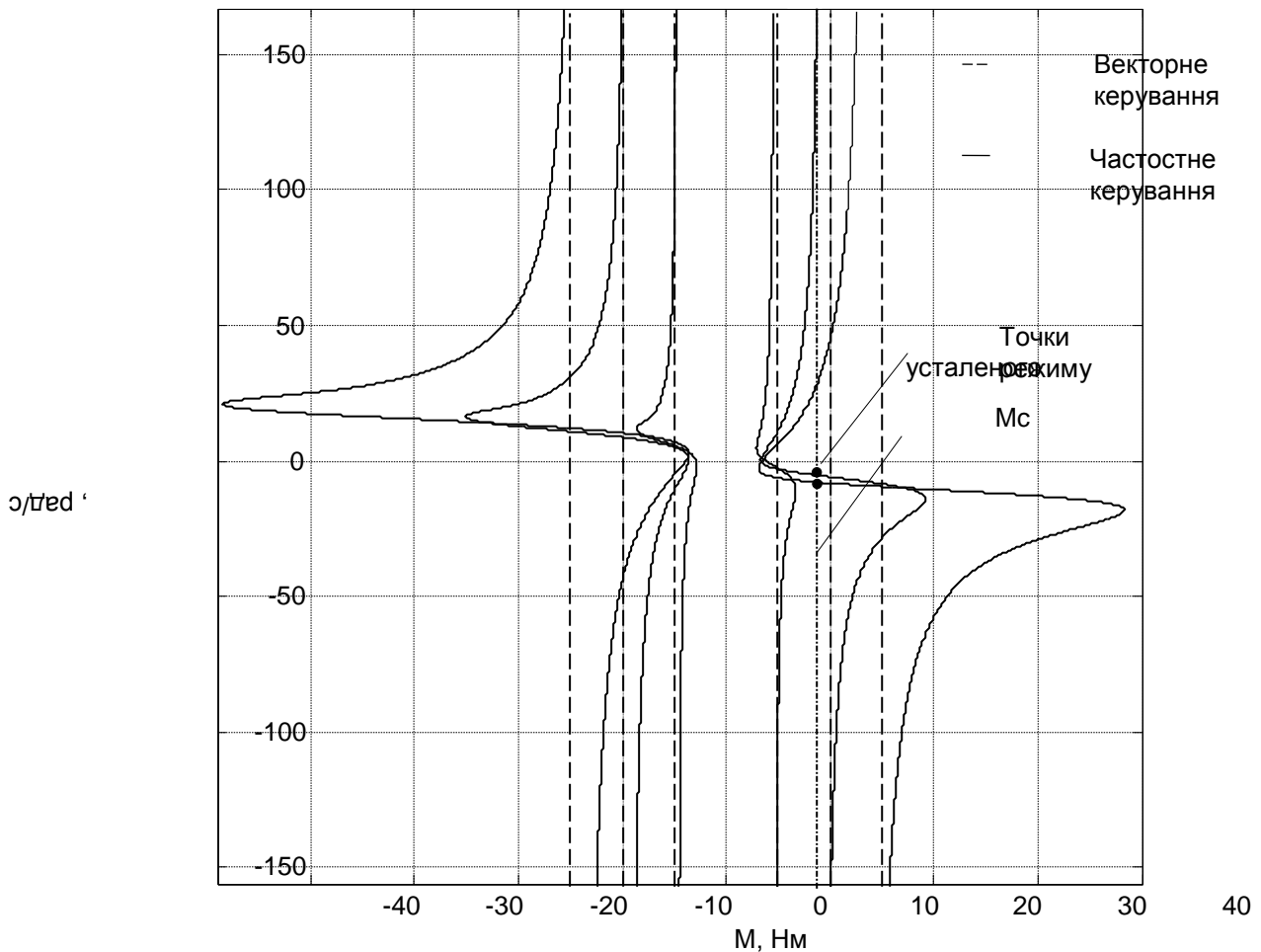


Рисунок 2 – Статичні характеристики при частотному та непрямому векторному керуванні

Характеристики знімалися для заданих моментів  $\pm 5$ ,  $\pm 10$ ,  $\pm 15$  Нм в першій зоні регулювання швидкості.

Як видно з Рис. 2, статичні характеристики при векторному керуванні представляють собою прямі вертикальні лінії, а відпрацьований системою момент дорівнює заданому, лінії якого співпадають з пунктирними лініями.

Статичні характеристики частотного керування представляють собою неперервні лінії. З них слідує, що відпрацьований момент не дорівнює заданому, що погіршує динаміку транспортного засобу. Зокрема, при наявності активного моменту навантаження, що на практиці спостерігається коли транспортний засіб рухається вгору, розгін двигуна після подачі додатнього завдання на момент не відбувається. В цьому режимі двигун почне обертатися в протилежному напрямку з невеликою швидкістю, тобто транспортний засіб буде повільно скочуватися вниз. Це пояснюється тим, що точка усталеного режиму буде знаходитись в зоні низьких від'ємних швидкостей, як показано на Рис. 2. Збільшення завдання на момент не дозволяє вийти з цього режиму, оскільки, як видно з Рис. 2, навіть при більших заданих моментах характеристика не забезпечить збільшення моменту у вказаній зоні низьких від'ємних швидкостей. В той же час при векторному керуванні збільшення завдання на момент дозволяє збільшити момент двигуна та запобігти відкочуванню транспортного засобу на етапі його розгону.

**Висновки.** В результаті аналізу статичних характеристик систем регулювання моменту встановлено, що при використанні частотного керування статичні характеристики мають нелінійний характер, що призводить до небажаних режимів руху електричних транспортних засобів внаслідок наявності значної похибки відпрацювання моменту в зоні низьких швидкостей. В той же час при векторному керуванні досягається асимптотичне регулювання моменту, що дозволяє забезпечити всі необхідні режими руху транспортних засобів.

#### Перелік посилань

1. L. Chang, "Comparison of AC Drives for Electric Vehicles-A Report on Experts' Opinion Survey", IEEE AES Systems Magazine, pp.7- 10, Aug 1994
2. Пересада С.М., Ковбаса С.М., Крижанівський В.П., Бовкунович В.С. Система керування моментом АД для тягових електроприводів// Промелектро. – 2007. – №1. – С. 66-70.
3. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни ТМС-1: С.М.Пересада,С.М. Ковбаса. – К.:НТУУ"КПІ",2011 р. – 80 с.