

# ЕМУЛЯТОР ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ: РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТЕСТУВАННЯ

Ковбаса С.М. к.т.н., доц., Борщ Р.І., магістрант, Беняшевська К.С., магістрантка

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

**Вступ.** Важливим етапом при проектуванні транспортного засобу є розробка алгоритмів керування [1]. Під час розробки виникає необхідність проведення експериментальних випробувань, що в реальних умовах є незручними і затратними. Дослідження методом математичного моделювання не враховують ефекти немодельованої динаміки, такі як: шуми вимірювання сигналів, неідеальності інвертора та інші збурення, які впливають на систему. Тому для проведення досліджень на експериментальних установках доцільно застосовувати емуляцію динамічної поведінки транспортного засобу, як це показано в [2].

**Метою роботи** є аналіз результатів експериментальних досліджень емулятора динаміки електричного транспортного засобу.

**Матеріали і результати досліджень.** Для проведення дослідження роботи емулятора було використано експериментальну установку, функціональну схему якої показано на рис. 1.

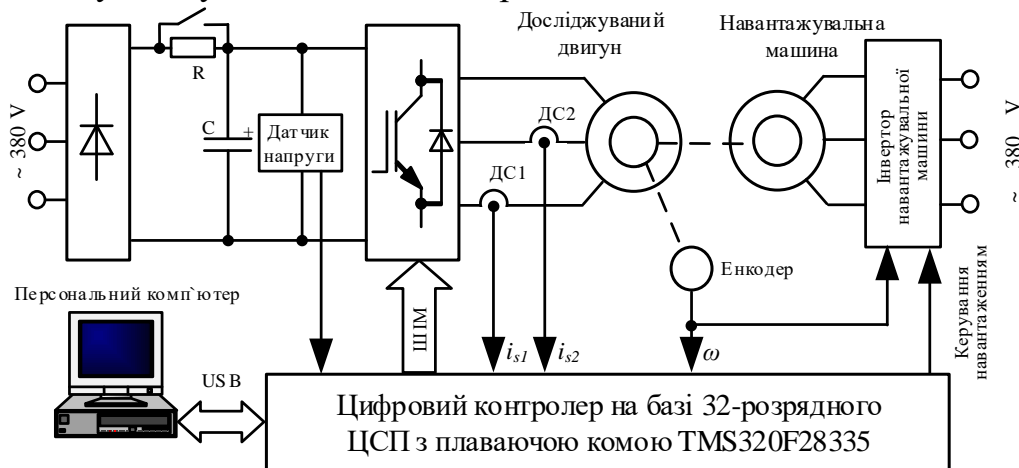


Рисунок 1 – Функціональна схема експериментальної установки

Установка складається з наступних основних елементів: двох асинхронних двигунів потужністю 2.2 кВт кожен, вали яких з'єднані жорсткою муфтою, силового перетворювача, керуючого контролера на основі цифрового сигнального процесора TMS320F28335, в якому реалізовані рівняння емулятора, фотоімпульсного датчика швидкості розподільчою здатністю 1024 імп/об.

Налаштування системи векторного керування кутовою швидкістю емулятора: коефіцієнти ПІ регулятора швидкості  $k_{\omega} = 100$ ,  $k_{\omega i} = 5000$ ;

коефіцієнти ПІ регулятора потокозчеплення  $k_\psi = 100$ ,  $k_{\psi i} = 2500$ ; коефіцієнти ПІ регуляторів струму  $k_i = 700$ ,  $k_{ii} = 245000$ .

Алгоритм, згідно якого керується двигун-емулятор, побудований на основі векторного керування швидкістю [2], на вхід якого подається сигнал завдання, що знаходиться рішенням диференційного рівняння:

$$\frac{d\omega^*}{dt} = \frac{1}{J} (\hat{M}_{тяг} - M_{c\Sigma}) \quad (1)$$

де  $M_{c\Sigma}$  – сумарний момент збурення до якого входять: момент сили аеродинамічного опору, момент тертя та момент сили тяжіння,  $\hat{M}_{тяг}$  – оцінений момент на валу двигуна.

При виконанні експериментального тесту емулятора, припускається, що рух транспортного засобу відбувається по прямій, тобто кут нахилу  $\alpha = 0$ . Тому гравітаційна складова сили тяжіння дорівнюватиме нулю, і не буде зображена на графіках.

Дослідження виконано з використанням наступної послідовності операцій керування: на інтервалі часу 0-0.25с машина емулятора збуджується за заданою траєкторією потокозчеплення, яка починається з  $\psi_0(0) = 0.02$  Вб і досягає значення 0.94 Вб; в момент часу  $t=1$  привідний двигун стрибкоподібно починає розвивати номінальний постійний момент, який підтримується до часу  $t=5$ .

Зафіксувавши появу зовнішнього моменту, емулятор здійснює керування механічною частиною так, що кутова швидкість відповідає руху транспортного засобу. Динаміка кутової швидкості, яку показано на рис. 3, відповідає сумарному моменту інерції транспортного засобу яке було закладено в модель  $J_{мех} = 0.526 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , в той час як реальний момент інерції пари двигунів лише  $J_{двиг} = 0.016 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

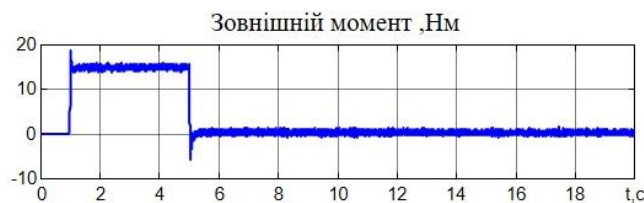


Рисунок 2 – Завдання зовнішнього моменту на двигун емулятора

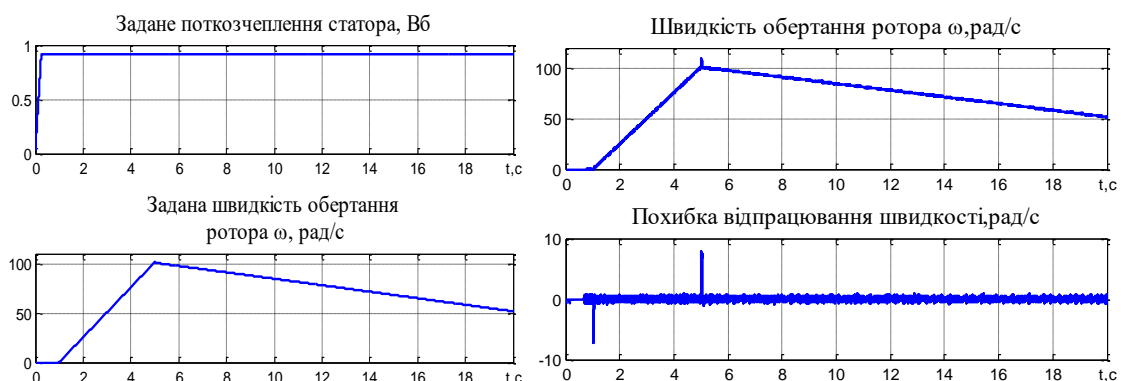


Рисунок 3 – Перехідні процеси в системі

Проаналізувавши траєкторію швидкості бачимо, що відбувається емуляція збільшеного моменту інерції.

Перехідні процеси зусиль, моменту аеродинамічного опору та сили і моменту тертя зображені на рис. 4.

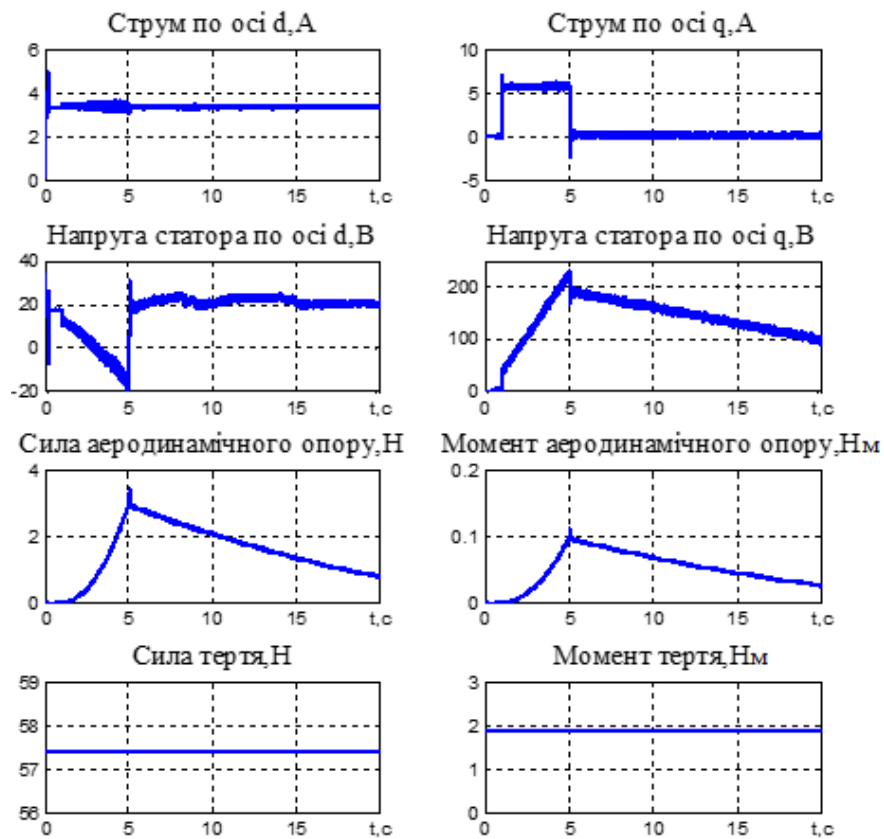


Рисунок 4 – перехідні процеси електричних змінних та розрахованих зусиль і моментів

З рис. 4 видно, що пікове значення моменту аеродинамічного опору в момент перед скиданням моменту привідного двигуна становить 0.1 Нм, а момент тертя дорівнює 2 Нм.

**Висновки.** За результатами експериментальних досліджень встановлено, що розроблений емулятор динаміки транспортного засобу дозволяє в умовах лабораторних досліджень формувати динамічну поведінку механічної частини пари електричних машин такою, що відповідає динаміці реального транспортного засобу, тобто забезпечується емуляція моменту інерції, сил аеродинамічного опору та сил сухого тертя.

#### Перелік посилань

1. Пересада С. М., Ковбаса С. М., Бовкунович В.С. «Сравнительное тестирование алгоритмов векторного и частотного управления моментом асинхронного двигателя в электромеханических системах пассажирского электротранспорта» // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені М. Остроградського. –2009. Вип.. 4/2009 частини 1. – С. 13 – 16.
2. Беняшевська К.С., Борщ Р.І., Ковбаса С.М. «Емулятор динаміки транспортного засобу» (стаття у цьому збірнику).