

ЕМУЛЯТОР ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

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

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

Вступ. Зростаюча популярність електромобілів на світовому ринку зумовлює необхідність розвитку сфери електромобільності. Це, в свою чергу, стимулює попит на розробки в галузі електроприводу та удосконалення технічного оснащення електромобілів.

На етапі розробки транспортного засобу та перевірки методів керування двигуном транспортного засобу існує необхідність проведення випробувань. Проведення експериментів в реальних умовах та з використанням обладнання транспортних засобів є незручним, а також тягне за собою великі витрати. Рішенням цієї проблеми є емуляція навантажень, що діють на транспортний засіб.

Метою роботи є розробка емулятора динаміки транспортного засобу для проведення експериментальних досліджень електромеханічних систем тягового призначення.

Матеріали і результати досліджень. Характер руху транспортного засобу (ТЗ) по траєкторії, повністю визначається всіма силами, що діють на нього в процесі руху. На рис. 1 показані сили, що діють на автомобіль, що рухається вгору по схилу.

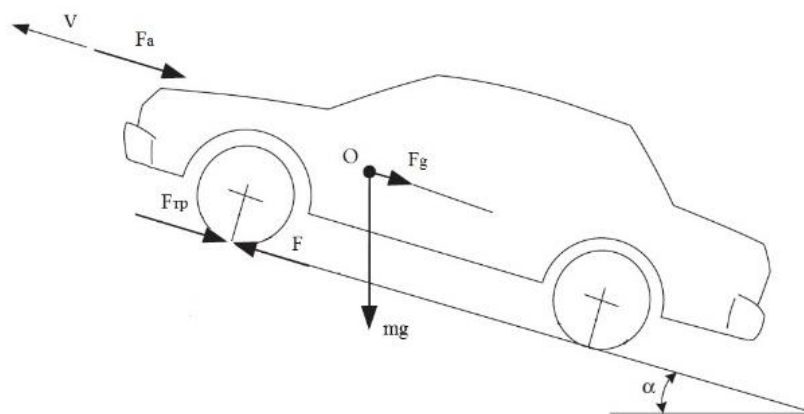


Рисунок 1 – Сили, що діють на автомобіль

Сила F , в зоні контакту між шинами приводних коліс і дорожнім покриттям, рухає автомобіль вперед. Вона з'являється за рахунок обертового моменту двигуна і передається через редуктор на приводні колеса. Поки автомобіль рухається, існує опір, який намагається зупинити його рух. Сили, що протидіють руху, як правило, включають силу тертя кочення шини, аеродинамічну силу опору і силу тяжіння при русі вгору [1].

Згідно з другим законом Ньютона, прискорення автомобіля може бути записане:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{F - \sum F_{\text{опору}}}{m} \quad (1)$$

де V – швидкість транспортного засобу; F – тягове зусилля транспортного засобу; $\sum F_{\text{опору}}$ – сума сил, які діють на транспортний засіб; m – маса транспортного засобу.

Сила тертя кочення розраховується наступним чином:

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{тр}} \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

де m – маса електромобіля, кг; g – прискорення вільного падіння, м/с²; α – кут нахилу дороги. $f_{\text{тр}}$ – коефіцієнт тертя кочення.

При русі електромобіля (автомобіля) по схилу, на нього діє сила опору підйому, зумовлена силою тяжіння:

$$F_g = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

Також автомобілю, що рухається з певною швидкістю, протидіє сила аеродинамічного опору. Величина її залежить від двох компонентів: форми і поверхні автомобіля.

Для розрахунку сили опору повітря використовують наступну емпіричну формулу:

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot S \cdot \rho \cdot v^2 \quad (4)$$

де C_x – коефіцієнт опору повітря, визначається експериментально для кожного кузова; S – лобова площа електромобіля, м²; ρ – щільність повітря; v – лінійна швидкість електромобіля, км/год.

Лінійна швидкість визначається з кутової швидкості приводного двигуна як:

$$V = \omega_{\text{об}} \cdot \frac{r_k}{i_p}, \quad (5)$$

де $\omega_{\text{об}}$ – кутова швидкість на валу двигуна, рад/с; r_k – радіус колеса, м; i_p – передатне число редуктора.

Підставивши (5) в (4) отримаємо формулу сили аеродинамічного опору:

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot S \cdot \rho \cdot \left(\omega_{\text{об}} \cdot \frac{r_k}{i_p} \right)^2 \quad (6)$$

Керування двигуном транспортного засобу здійснюється за алгоритмом векторного керування моментом. Ідея емуляції динаміки транспортного засобу полягає в створенні за допомогою навантажувального двигуна моменту опору, еквівалентного тому, що фізично створюють зовнішні сили, що діють на транспортний засіб, а також формування динамічної поведінки швидкості приводного двигуна за умов віртуального моменту інерції,

Структурну схему ТЗ з векторно-керованием двигуном зображено на рис. 2, де також пунктиром виділено частину системи, яка буде розраховуватися контролером навантажувального агрегату.

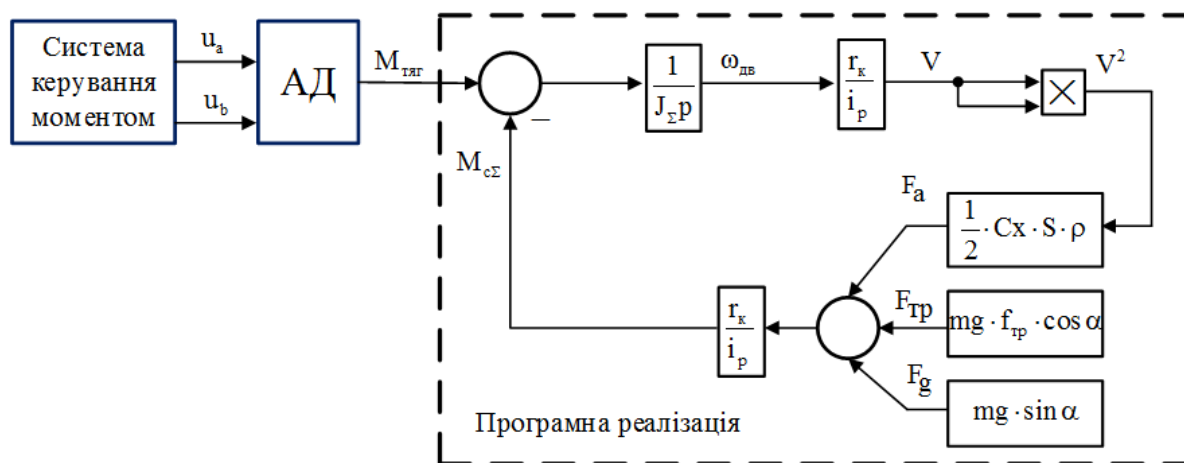


Рисунок 2 – Структурна схема транспортного засобу з векторно-керованием двигуном

Розрахунок $M_{сз}$ здійснюється з використанням наступного виразу:

$$M_{сз} = (F_g + F_a + F_{mp}) \cdot \frac{r_k}{i_p} \quad (7)$$

Для емуляції динаміки двигун емулятора працює в режимі векторного керування швидкістю.

Якщо опустити підсистему регулювання потокозчеплення, спрощена структурна схема регулювання швидкості має вигляд, який показано на рис. 3.

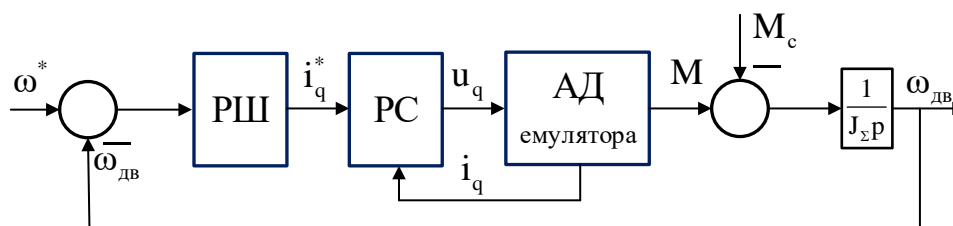


Рисунок 3 – Структурна схема регулювання швидкості

Н рис. 3 позначено: РШ – регулятор швидкості, РС – регулятор струму, ω^* - задана кутова швидкість, M – момент двигуна, M_c – момент навантаження, $J_{ср}$ – сумарній момент інерції, i_q, i_q^* – моментоутворююча компонента струму статора та її завдання відповідно, u_q – напруга статора по осі q.

Для реалізації емулятора ТЗ на основі цієї системи, необхідно сформулювати сигнал ω^* так, щоб він відповідав динамічній поведінці швидкості двигуна реального ТЗ, тобто рівняння емулятора необхідно обчислювати в реальному часі.

Поєднавши дві системи, показані на рис. 2 і рис. 3, отримаємо структурну схему емулятора, яку зображено на рис. 4.

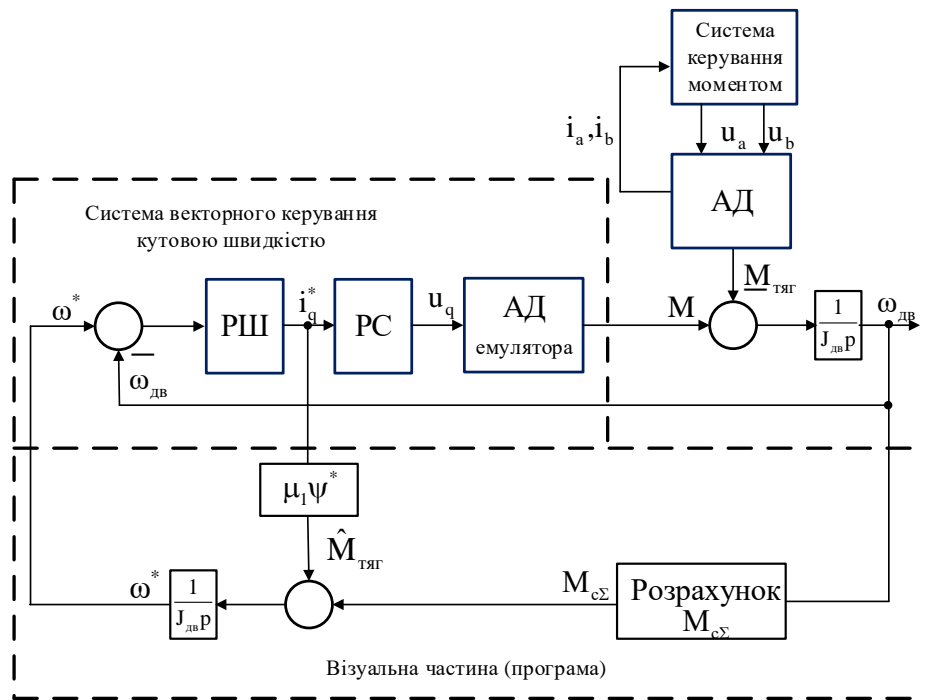


Рисунок 4 – Структурна схема емулятора

Для емуляції пропонується непрямим шляхом визначити величину моменту на валу двигуна M . Вимірюючи струм i_q , визначається момент привідного двигуна M , за відомою залежністю:

$$i_q = \frac{M}{\mu_1 \cdot \psi^*},$$

$$\hat{M}_{тяги} = i_q \cdot \mu_1 \cdot \psi^*, \quad (8)$$

де ψ^* – задане потокозчеплення ротора, $\mu_1 = 1.5 p_n L_m / L_2$, p_n – число пар полюсів асинхронного двигуна, L_m – індуктивність намагнічуючого контуру, L_2 – індуктивність ротора.

Завдання швидкості двигуна емулятора розраховується програмно на основі рівнянь емулятора.

Величина швидкості, що подається на вхід системи керування, можна знайти рішенням диференційного рівняння:

$$\frac{d\omega^*}{dt} = \frac{1}{J_\Sigma} (\hat{M}_{тяги} - M_{сз}) \quad (9)$$

Висновки. В роботі розроблено емулятор динаміки транспортного засобу на основі асинхронного векторно-керуваного електроприводу, який дозволяє в лабораторних умовах проводити дослідження електромеханічних систем електричних транспортних засобів з врахуванням реального моменту інерції та зусиль, що діють на транспортний засіб.

Перелік посилань

1. Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Stefano Longo, Kambiz M. Ebrahimi Modern electric, hybrid-electric and fuel cell vehicles, 2018. – 546 с.