

М.В. Хворост, Р.В. Воронов

*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків*

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ СКАЛЯРНОГО КЕРУВАННЯ ТЯГОВИМИ АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ, ЩО ЖИВЛЯТЬСЯ ВІД ОДНОГО ІНВЕРТОРА

Функціонування електромеханічних систем транспортних засобів досить часто стикається з необхідністю здійснювати живлення декількох тягових двигунів змінного струму від одного інвертора. У більшості випадків виробники частотних перетворювачів вимагають в таких випадках перелаштування системи керування на використання скалярного закону. Метою роботи є дослідження системи скалярного керування двома асинхронними двигунами, що живляться від одного інвертора. Складено модель транспортно-го засобу з двома тяговими двигунами у середовищі Matlab/Simulink.

**Ключові слова:** тяговий електропривод, скалярне керування, зчеплення, математична модель, частотне керування

### Постановка проблеми

Більшість систем регульованого електроприводу змінного струму будуються таким чином, що один двигун отримує живлення від одного інвертора, а у якості базового принципу керування використовується векторне керування. Проте, у деяких випадках існує необхідність жити декілька паралельно включених двигунів від одного інвертора, що дозволяє забезпечити мінімізацію розмірів, ваги та вартості такої системи. До найбільш розповсюджених прикладів таких систем відносяться залізничні та міські електричні транспортні засоби, де для приведення у рух використовується від двох до чотирьох асинхронних двигунів, що підключені паралельно. Керування такою системою є складною задачею, особливо в умовах нерівномірного навантаження двигунів, що може виникнути в умовах різного зчеплення коліс з рейками. Відсутність можливості забезпечення індивідуального керування двигунами при живленні від одного інвертора може призвести до зниження рівня безпеки такого транспортного засобу через втрату стійкості при зміні поточного значення коефіцієнту зчеплення окремих колісних пар. Втрата стійкості тяговою системою пояснюється тим, що в умовах незбалансованого навантаження швидкість двигуна, що є менш навантаженим, зростає, а швидкість двигуна, що є більш навантаженим, зменшується. З часом різниця швидкостей зростає, а керованість рухом транспортного засобу втрачається. Задля усунення даного негативного явища необхідно підтримувати робочу точку на характеристиці зчеплення коліс з рейками у стійкій зоні.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питанню забезпечення стійкості тягової системи в умовах зміни зчеплення присвячена значна увага у вітчизняній та закордонній літературі. У [1] запропоновано набір рівнянь, що можуть слугувати основою для розробки математичної моделі електромеханічної системи дизель-поїзда з урахуванням умов зчеплення колісних пар з рейками. Проте, дана модель не містить рівнянь, що описують процеси у тяговому двигуні, а саме внутрішні процеси у ньому (зміна швидкості обертання валу зі зміною величини навантаження) є причиною нестійкості у певних режимах функціонування. У [2] розглядається динамічна модель для дослідження процесів у тяговій системі в умовах втрати зчеплення колеса з рейкою та запропоновано підхід до забезпечення стійкості в умовах поганого зчеплення. Проте, в якості тягової електромеханічної системи розглядається система з одним двигуном постійного струму. Загальновідомо, що двигуни постійного струму володіють рядом значних недоліків, а тому їх використання у нових структурах тягових систем є небажаним. Окрім того, результати даного дослідження не дозволяють зробити висновків щодо поведінки системи при живленні декількох двигунів від одного джерела. У [3] детально розглянуто математичну модель тягової системи з асинхронним двигуном в умовах зміни моменту зчеплення. Проте, процеси, що пов'язані з втратою зчеплення у роботі не розглядалися. У роботі [4] запропоновано варіант системи керування двома двигунами, що живляться від одного інвертора. Система побудова за принципом «ведучий – ведений» таким чином, що «ведучим» стає більш навантажений двигун і система керування орієнтується на його змінні стану, а той час як «ведений»

двигун живиться напругою тієї ж амплітуди і частоти, що і «ведучий» двигун, проте значення його змінних стану не враховуються при розрахунку керуючих дій. У [5] запропоновано усереднений підхід до керування двома асинхронними двигунами, що живляться від одного інвертора. Отже, керування системою з двох двигунів здійснюється таким чином, начебто вона складається з одного двигуна, вал якого обертається з середньою швидкістю обертання валів двох двигунів, а по його обмоткам протікає середній струм обмоток двох двигунів. Такий підхід до усереднення змінних стану двох двигунів призводить до того, що потокозчеплення одного з двигунів може зростати понад номінальне значення, що призведе до насичення сталі та зниження показників енергоефективності роботи двигуна.

### Формулювання мети та задач дослідження

Метою роботи є аналіз тягової електромеханічної системи з двома асинхронними двигунами, що живляться від одного інвертора, в умовах зміни коефіцієнтів зчеплення відповідних колісних пар з рейками/дорогою.

Для вирішення поставленої задачі необхідно:

- 1) розглянути процеси у механічній частині тягової системи з двома двигунами;
- 2) скласти математичну модель системи, що містить джерело живлення, інвертор, два асинхронні двигуни, передачу зусилля від двигуна до колісної пари транспортного засобу, контакт коліс з рейками та корпус транспортного засобу;
- 3) проаналізувати динаміку процесів у тяговій системі при використанні скалярного закону частотного керування асинхронними двигунами в умовах зміни зчеплення коліс з рейками.

### Викладення основного матеріалу

Розглянемо рівняння, що описують поведінку транспортного засобу, у якого дві колісні пари приводяться в рух від окремих двигунів. Модель руху транспортного засобу повинна відображати не тільки процеси при прямолінійному русі по горизонтальній дорозі, а й при підйомі на пагорб, спуску з пагорба та здійсненні поворотів. Проте, при аналізі відповідних систем, як правило, обмежуються описом руху у двовимірній системі координат, що в достатній мірі дозволяє вивчити продуктивність транспортного засобу, оцінити показники прискорення, максимальної швидкості, здатності долати підйом, а також гальмівні режими системи. На рис. 1 показано сили, що діють на транспортний засіб при русі по ділянці дороги, що має певний нахил до горизонталі, що відображається кутом  $\alpha$ .

Другий закон Ньютона описує базовий принцип поступального руху транспортного засобу,

зв'язуючи між собою величини прискорення та сил, що діють на систему:

$$ma = F_t - F_w - F_g - F_r,$$

де  $m$  – маса транспортного засобу,  $a$  – величина прискорення,  $F_t$  – загальне тягове зусилля,  $F_w$  – аеродинамічний опір,  $F_g$  – проекція сили тяжіння на вісь руху транспортного засобу,  $F_r$  – сила тертя кочення.

При русі транспортного засобу повітря створює нормальний тиск і напругу зсуву корпусу. Таким чином, зовнішній аеродинамічний опір складається з двох складових: викривлення форми та тертя поверхні. Викривлення форми виникає через те, що при переміщенні транспортного засобу у повітрі перед транспортним засобом виникає область високого тиску, а позаду нього – область низького тиску. Ці області високого та низького тиску створюють опір руху. Тертя поверхні обумовлюється напругою зсуву у зовнішньому шарі кузова транспортного засобу. Як правило, викривлення форми є набагато більшим за поверхневе тертя і становить 85-95% від загальної величини аеродинамічного опору транспортного засобу. Отже, аеродинамічний опір залежить від ефективної площі лобової поверхні, швидкості руху та швидкості зустрічного вітру. При дослідженнях динаміку руху транспортного засобу аеродинамічний опір розраховується таким чином:

$$F_w = \frac{1}{2} k_w \rho S (v + v_w)^2,$$

де  $k_w$  – коефіцієнт аеродинамічного опору,  $\rho$  – густина повітря,  $S$  – площа лобової поверхні,  $v$  – швидкість руху транспортного засобу,  $v_w$  – швидкість зустрічного вітру.

Коли транспортний засіб рухається вгору на пагорб або вниз з пагорба, то сила тяжіння, яка завжди діє вертикально вниз, має проекцію, що має враховуватися при підрахунку загального тягового зусилля транспортного засобу. Ця проекція створює гальмівну дію при русі вгору на пагорб та рушійну дію при русі вниз. Оскільки, як правило, розрахунки проводяться з метою знаходження максимальної величини необхідного тягового зусилля, то розрахунки проводяться для умов руху вгору на пагорб. Тоді проекція сили тяжіння на вісь дії тягового зусилля може бути розрахована так:

$$F_g = mg \sin \alpha,$$

де  $m$  – маса транспортного засобу,  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\alpha$  – кут нахилу дороги.

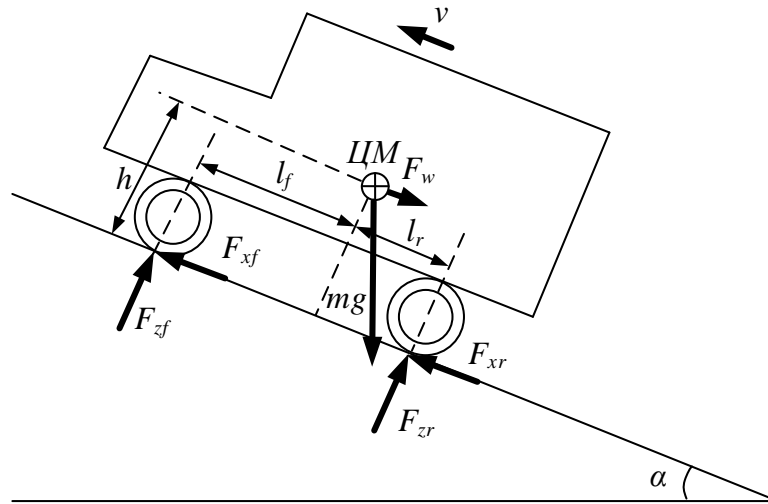


Рис. 1. Зображення сил, що діють на транспортний засіб

Сила тертя кочення є результатом пружного гістерезису шини/колеса на контактній поверхні. При нерухомому колесі сила реакції, створювана поверхнею дороги/рейок врівноважує силу тяжіння транспортного засобу в точці контакту, яка знаходиться на одній вертикалі з центром колеса. Коли колесо починає обертатися, то через його деформацію або пружний гістерезис тиск у випереджаючій частині контактної поверхні є вищим, ніж у відстаючій частині. Сила реакції дороги зміщується від вертикалі з центром колеса у напрямку руху. Цей зсув призводить до виникнення моменту, який створює гальмівну дію на колесо. Отже, сила тертя кочення – це сила, що зумовлена моментом, який гальмує рух колеса, а отже створює гальмівне зусилля для руху транспортного засобу. Дана сила залежить від сили реакції опори  $F_z$  та коефіцієнту тертя кочення  $\mu$ :

$$F_r = \mu F_z \cos \alpha.$$

Перетворюючи рівняння, отримане за другим законом Ньютона, у відповідності до сил, що діють на обидві колісні пари системи, маємо:

$$ma = F_{tf} + F_{tr} - F_w - F_g - F_{rf} - F_{rr}.$$

При цьому у індекси сил, що відносяться до передньої колісної пари додано літеру “f”, а у індекси сил, що відносяться до задньої колісної пари додано літеру “r”. Отримане рівняння описує поступальний рух транспортного засобу. Для отримання величини загального тягового зусилля необхідно обчислити сили реакції опори  $F_{zf}$  та  $F_{zr}$ .

Розглянемо рівномірний рух транспортного засобу в умовах незмінного зчеплення коліс з рейками/дорогою. Оскільки колеса при цьому обертаються з постійною кутовою швидкістю, то сума моментів, що діють на них, повинна бути рівною нулю:

$$\sum M_r = 0;$$

$$\sum M_f = 0.$$

Розрахувавши відповідні моменти сил, що діють на переднє та заднє колесо, маємо:

$$mah + F_{zf}(l_f + l_r) + F_w h + mg \sin \alpha h - mg \cos \alpha l_r = 0;$$

$$-mah + F_{zr}(l_f + l_r) - F_w h - mg \sin \alpha h - mg \cos \alpha l_f = 0,$$

де  $h$  - висота центру мас (ЦМ),  $l_f$  та  $l_r$  - відстань від передньої та задньої вісі до центру мас,  $F_{zf}$  та  $F_{zr}$  - сили реакції опори, що діють на передні та задні колеса. Тоді дані сили можна розрахувати так:

$$F_{zf} = \frac{-mah - F_w h - mg \sin \alpha h + mg \cos \alpha l_r}{l_f + l_r};$$

$$F_{zr} = \frac{mah + F_w h + mg \sin \alpha h + mg \cos \alpha l_f}{l_f + l_r}.$$

Зусилля, створюване двигунами, формує загальну величину тягового зусилля:

$$F_t = F_{xf} + F_{xr},$$

де  $F_{xf}$  та  $F_{xr}$  - поздовжні сили, створювані передніми та задніми колесами відповідно. Дані сили створюються за рахунок зчеплення між колесами та дорогою/рейками, а тому вони можуть бути представлені за допомогою коефіцієнту тертя та сил реакції наступним чином:

$$F_{xf} = \mu_f F_{zf};$$

$$F_{xr} = \mu_r F_{zr},$$

де  $\mu_f$  та  $\mu_r$  – коефіцієнти тертя передніх та задніх коліс. Саме неоднаковість даних коефіцієнтів, що може виникати за певних умов, є первинною причиною втрати стійкості тягової системи, що має два двигуни, що живляться від одного інвертора.

Для дослідження процесів у тяговій електромеханічній системі з двома асинхронними двигунами, що живляться від одного інвертора, була розроблена математична модель системи у середовищі Matlab/Simulink з використанням елементів бібліотеки Simscape. Дана модель містить три підсистеми: підсистема керування, підсистема електричної частини, підсистема механічної системи.

Підсистема керування (рис. 2) реалізує синтез сигналів керування ключами інвертора з використанням синусоїдальної широтно-імпульсної модуляції. В основі даної модуляції є порівняння напруги завдання з трикутним опорним сигналом (рис. 3), частота якого співпадає з заданою частотою переключення ключів інвертора, яка у моделі прийнята на рівні 4 кГц. При цьому наявність «мертвого» часу нехтуємо. Сигнали завдання напруги генеруються на основі скалярного закону керування, який регламентує наступне співвідношення між напругою  $U$  та частотою  $f$ :

$$\frac{U^2}{f} = const.$$

Вибір даного закону обумовлений тим, що механічні характеристики асинхронного двигуна, які отримуються при його використанні, характеризу-

ються збільшенням величини максимального (критичного) моменту двигуна, що відповідає бажаній тяговій характеристиці системи.

Структура електричної підсистеми математичної моделі (рис. 4) включає моделі: джерела електричної енергії, дворівневого інвертора напруги та двох асинхронних двигунів. Незважаючи на те, що застосування багаторівневих інверторів має значні перспективи у структурі тягових електромеханічних систем, в даному дослідженні розглядається традиційна топологія дворівневого інвертора, оскільки аналіз процесів та комутаційних втрат в інверторі та двигуні не є метою даної роботи.

Основною механічної підсистеми математичної моделі виступає блок Vehicle Body, який моделює поздовжній рух двовісного транспортного засобу. Позитивним моментом використання даного блоку є те, що він допускає використання різної кількості коліс на кожній осі, проте, при цьому колеса повинні мати однаковий радіус. Моделювання динаміки руху виконується з урахуванням маси транспортного засобу, аеродинамічного опору та нахилу дороги. Зв'язок електричної та механічної підсистем здійснюється таким чином: у електричній підсистемі здійснюється вимірювання електромагнітного моменту двигуна, який у механічній моделі використовується в якості вхідного сигналу за допомогою ідеального джерела моменту. У механічній підсистемі виконується вимірювання величини кутової швидкості високошвидкісного валу редуктора за допомогою ідеального датчика кутової швидкості, а в подальшому даний сигнал використовується в якості вхідного сигналу в електричній моделі асинхронного двигуна.

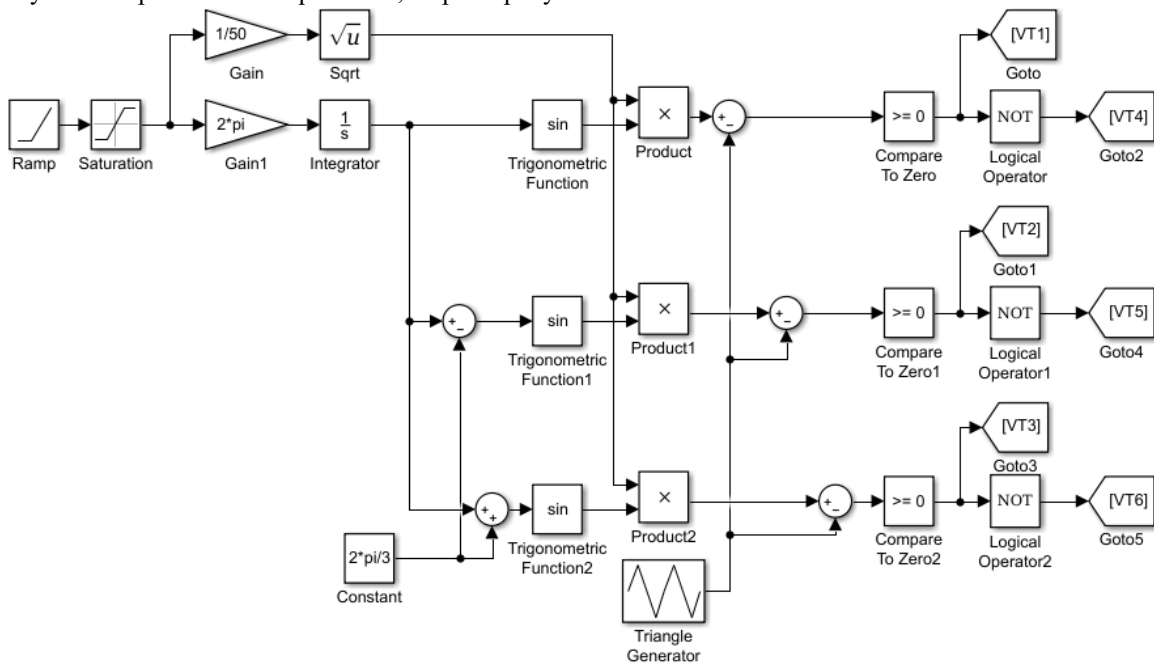


Рис. 2. Структура підсистеми керування системи тягового електропривода

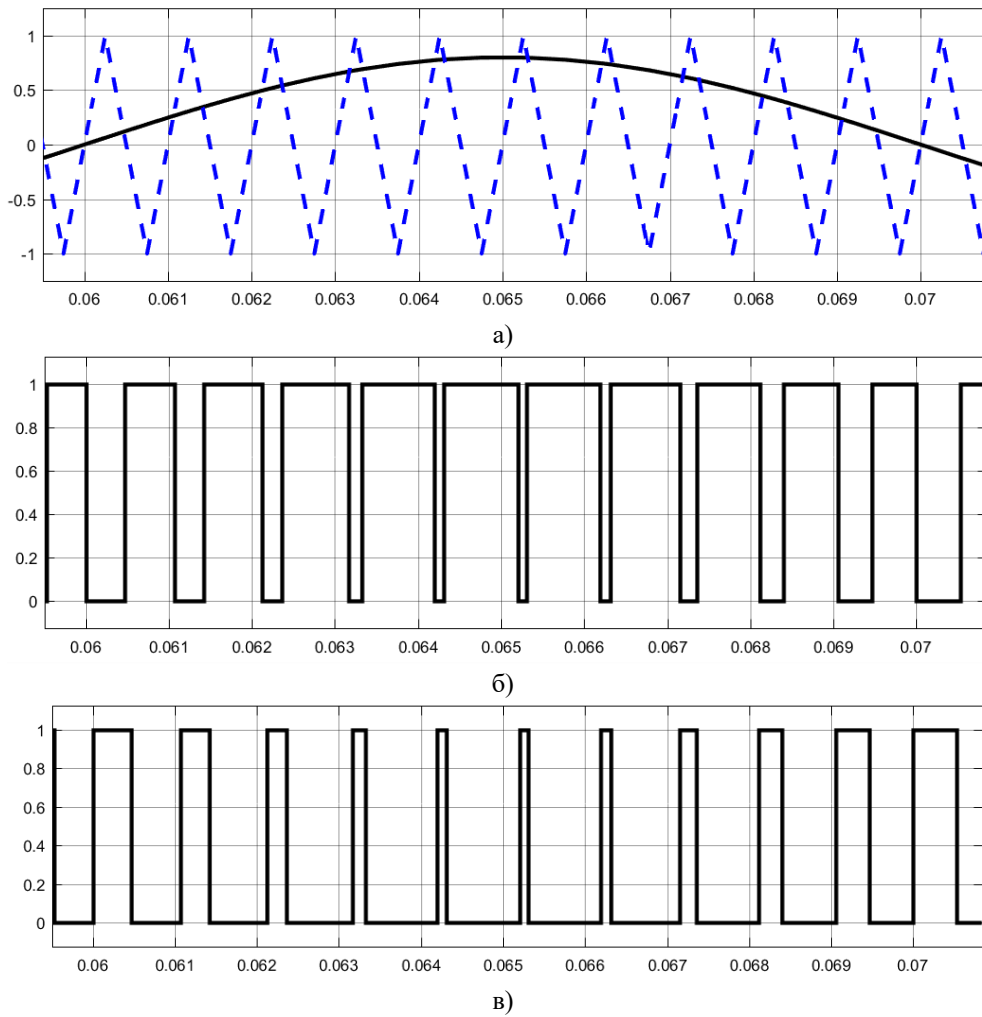


Рис. 3. Принцип синусоїдальної широтно-імпульсної модуляції при частоті опорного сигналу 1 кГц:  
 а – сигнал завдання та трикутний опорний сигнал; б – сигнал керування верхнім ключем інвертора відповідної фази; в – сигнал керування нижнім ключем інвертора відповідної фази

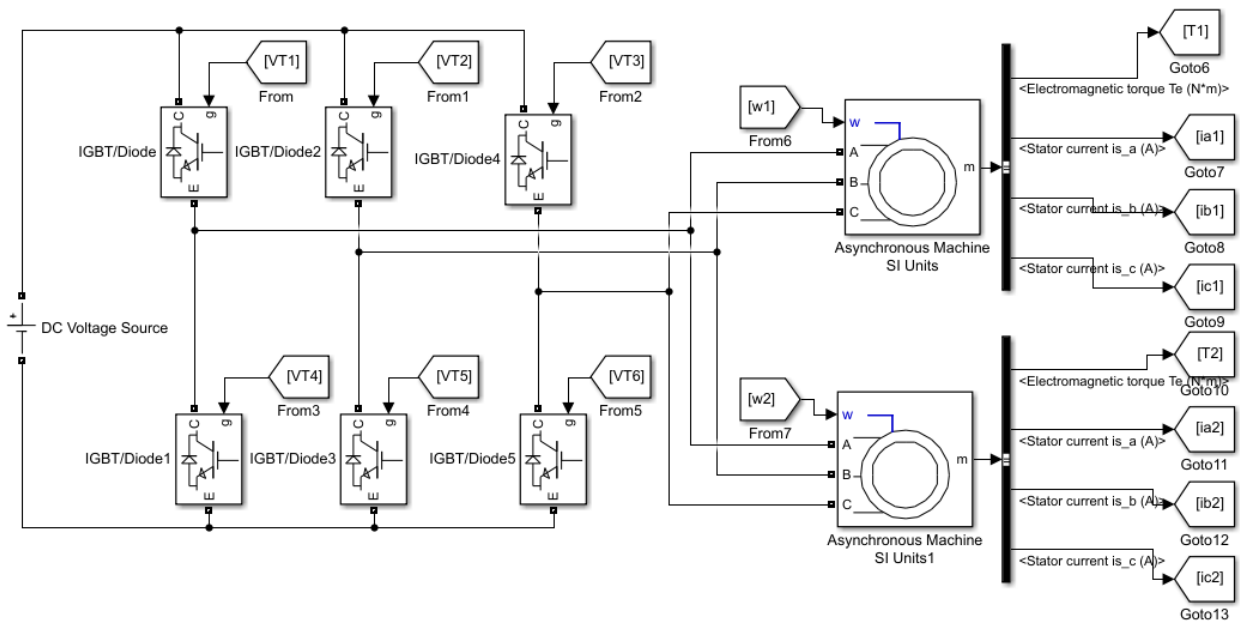


Рис. 4. Структура електричної підсистеми моделі

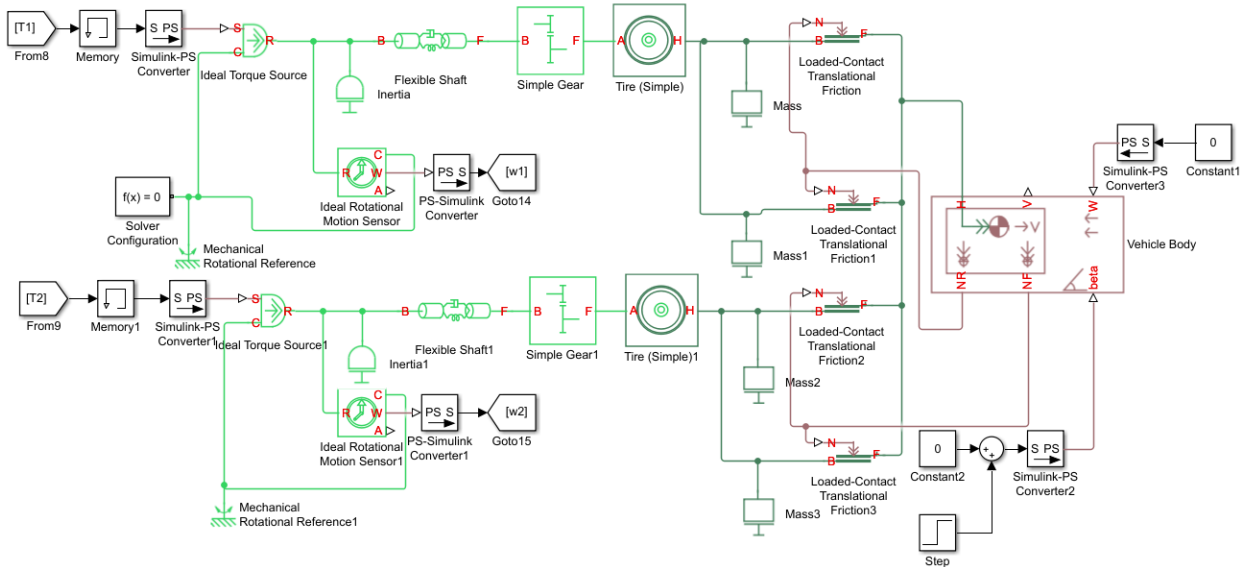


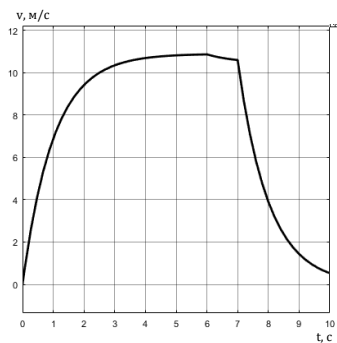
Рис. 5. Структура механічної підсистеми моделі

Виконаємо моделювання режимів роботи тягової електромеханічної системи, що містить два асинхронних двигуни, що живляться від одного інвертора. Розгін здійснюється нарощуванням частоти за лінійним законом від 0 до 25 Гц протягом 5 с. Рух транспортного засобу протягом цього часу здійснюється по горизонтальній ділянці дороги. В момент часу 6 с моделюється зміна кута нахилу дороги і після цього моменту транспортний засіб здійснює підйом на пагорб з кутом нахилу  $15^{\circ}$ . В момент часу 7 с моделюється зміна характеристики зчеплення передньої осі з сухих на вологі умови.

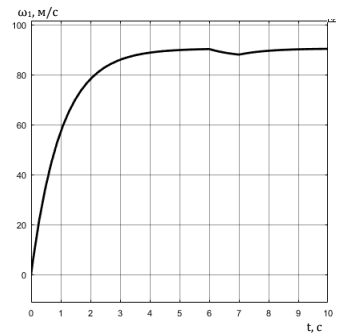
Як видно з графіків, втрата стійкості системи відбувається через втратою першим другим зчеплення з дорогою. У результаті цього відбувається уповільнення транспортного засобу, а система скалярного частотного керування не здатна своїми засобами підтримати стійкість системи, що є суттєвим недоліком її функціонування. Тому в подальших дослідженнях слід проаналізувати системи векторного керування асинхронними двигунами, які мають більше можливостей щодо впливу на змінні стану системи.

### Висновки

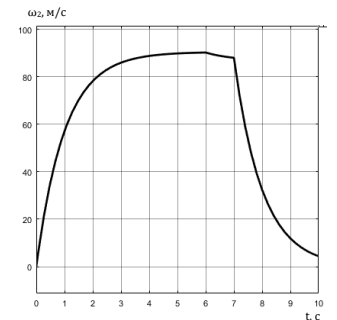
1. Проаналізовано механічні процеси у тяговій системі, в якій кожна колісна пара приводиться у рух від окремого двигуна з живленням від спільного інвертора. Показано, що ідентичність величин коефіцієнтів зчеплення є важливою умовою стійкості такої системи, яку неможливо гарантувати в реальній практиці функціонування транспортного засобу. Тому розробка та дослідження систем керування, що здатні забезпечити стійку роботу системи у різних умовах зчеплення коліс з рейками/дорогою є важливим напрямком для подальшого розвитку таких систем.



а)



б)



в)

Рис. 6. Результати моделювання тягової електромеханічної системи: а – швидкість руху транспортного засобу; б – кутова швидкість обертання валу двигуна 1; в – кутова швидкість обертання валу двигуна 2

2. Запропоновано структуру математичної моделі тягової електромеханічної системи, що складається з двох асинхронних двигунів, які живляться від одного інвертора. У якості закону частотного керування обрано закон скалярного керування, як найбільш простий в реалізації, оскільки він не вимагає оцінки змінних стану компонентів системи. У якості способу отримання сигналів керування ключами обрано синусоїдальну широтно-імпульсну модуляцію.

3. Шляхом математичного моделювання досліджено функціонування тягової електромеханічної системи зі скалярним законом частотного керування. Доведено, що зміна характеристик зчеплення однієї колісної пари може призводити до втрати стійкості системою, що є неприйнятним з точки зору забезпечення комфортного та безпечного функціонування транспортного засобу.

### Література

1. Заполовский, Н.И. Моделирование тягового электропривода дизель поезда с учетом сцепления колесных пар с рельсами [Текст] / Н.И. Заполовский, С.И. Червонный, Р.М. Грыб // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2006. – № 23. – С. 61-66.
2. Логинава, Е.Ю. Исследование динамических процессов в электроприводе локомотива с использованием Simulink/MATLAB [Текст] / Е.Ю. Логинава, Бурэн-Ингэл Гантумур // Электронный журнал Cloud of Science. – 2015. – Том 2. №1. – С. 89-99.
3. Веселов, Г.Е. Синергетическая система управления тяговым электроприводом [Текст] / Г.Е. Веселов, И.А. Радионов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – №5 (130). – С. 42-47.
4. Bidart, D., Pietrzak-David, M., Maussion, P., Fadel, M. (2008). Mono inverter dual parallel PMSM – Structure and control strategy. 34<sup>th</sup> Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, 268-273.
5. Joshi, B.M., Chandorkar, M.C. (2014). Two-motor single inverter field-oriented induction machine drive dynamic performance. *Journal of Indian Academy of Sciences*, 39, 391-407.
6. Janous, S., Talla, J., Peroutka, Z., Smidl, V. (2018). Predictive control of parallel induction motors fed by single inverter with common current sensors. 44<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 5843-5848.
7. Савоськин, А. Н. Исследование сцепных свойств вагона электропоезда на четырёх одноосных тележках [Электронный ресурс] / А. Н. Савоськин, Е. В. Сердобинцев, С. Д. Крушев, П. Н. Званцев // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. - 2005. - Вип. 8. - С. 95-100. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt\\_2005\\_8\\_21](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2005_8_21)
8. Кручек, В.А. Коэффициент использования сцепной массы локомотива с групповым тяговым приводом колесных пар [Текст] / В.А. Кручек, А.В. Грищенко, Т.С. Тутова // Известия Петербургского университета путей и сообщения. – 2017. – Том 14, № 2. – С. 267 – 279.
9. Бондарев, О.М. Про вплив частот живлення статорних обмоток асинхронних тягових двигунів на динамічну навантаженість елементів тягових приводів локомотивів [Текст] / О.М. Бондарев // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту «Наука та прогрес транспорту». – 2010. – №31. – С. 11-24.
10. Космодамианский, А.С. Прямое управление моментом асинхронных двигателей при их питании от одного преобразователя частоты [Текст] / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, А.А. Пугачев // Электротехника. – 2015. – №9. – С. 29-35.
11. Владыкин, А.В. К вопросу о математическом моделировании влияния импульсного инвертора на процессы боксования колесной пары в предельных условиях эксплуатации [Текст] / А.В. Владыкин, Н.О. Фролов // Инновационный транспорт. 2015. – №2 (16). – С. 36-37.
12. Колпахчян, П.Г. Управление двумя асинхронными двигателями при питании от одного инвертора [Текст] / П.Г. Колпахчян // Известия высших учебных заведений: Электромеханика. – 2006. – №2. – С. 45-51.
13. Ещн Е.К. Управление электромагнитными моментами параллельно работающих асинхронных электродвигателей от одного инвертора [Текст] / Е.К. Ещн // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2007. – № 5. – С. 49-50.

### References

1. Zapolovsky, N.I., Chervonnyy, S.I., Grib, R.M. (2006). Modeling a traction electric drive of a diesel train taking into account the coupling of wheelsets with rails. *Journal of National technical university «Kharkiv Polytechnic Institute»*, 23, 61-66.
2. Loginova, E.Yu. (2015). Research of dynamic processes in an electric locomotive using by Simulink/MATLAB. *Journal of Cloud of Science*, 1, 89-99.
3. Veselov, G.E., Radionov, I.A. (2012). Sybergetic traction drive control system. *Journal of federal University*, 5 (130), 42-47.
4. Bidart, D., Pietrzak-David, M., Maussion, P., Fadel, M. (2008). Mono inverter dual parallel PMSM – Structure and control strategy. 34<sup>th</sup> Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, 268-273.
5. Joshi, B.M., Chandorkar, M.C. (2014). Two-motor single inverter field-oriented induction machine drive dynamic performance. *Journal of Indian Academy of Sciences*, 39, 391-407.
6. Janous, S., Talla, J., Peroutka, Z., Smidl, V. (2018). Predictive control of parallel induction motors fed by single inverter with common current sensors. 44<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 5843-5848.
7. Savoskin, A.N., Serdobintsev, E.V., Krushev, S.D., Zvantsev, P.N. (2005). Research of the coupling properties of an electric train carriage on four uniaxial bodies. *Journal of Dnipro national university of railway transports named after academic V. Lazaryana*, 8, 95-100. Retrieved from [http://www.nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt\\_2005\\_8\\_21](http://www.nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2005_8_21)
8. Kruchek, V.A., Grishchenko, A.V., Titova, T.S. (2017). Coefficient of using of the towing mass of a locomotive with a group traction drive of wheelsets. *Journal of Petersburg of railway transport*. 2, 267-279.

9. Bondarev, O.M. (2010). About the frequency incidence of the stator windings of the asynchronous traction motors to the dynamism of elements of the traction drives of the locomotive. *Journal of Dnipro national university of railway transport «Science and Progress of transports»*. 31, 11-24.
10. Cosmodamian, A.S., Vorobiev, V.I., Pugachev, A.A. (2015). Direct control of the torque of induction motors when powered by a single frequency converter. *Journal of Electrical engineering*. 9, 29-35.
11. Vladikin, A.V., Frolov, N.O. (2015). To the question on mathematical modeling of the influence of a pulsed inverter on the processes of boxing a pair of wheels in extreme operating conditions. *Journal of Innovative transport*. 2(16), 36-37.
12. Kolpakhchyan, P.G. (2006). Control of two induction motors powered by a single inverter. *Journal of Institutions of Higher Education: Electromechanics*. 2, 45-51.
13. Eschin, E.K. (2007). Control of electromagnetic moments of asynchronous electric motors running in parallel from one inverter. *Journal of Kurbass state technical university*. 5, 49-50.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Х. Далека, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна

**Автор:** ХВОРОСТ Микола Васильович  
доктор технічних наук, професор  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
E-mail - [bgd@kname.edu.ua](mailto:bgd@kname.edu.ua)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2606-8228>

**Автор:** ВОРОНОВ Роман Володимирович  
асистент  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
E-mail - [voronovroman19@gmail.com](mailto:voronovroman19@gmail.com)

## RESEARCH OF SCALAR CONTROL SYSTEM OF TWO TRACTION INDUCTION MOTORS FROM BY ONE INVERTER

M. Hvorost, R. Voronov

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Ukraine

*Most adjustable-speed AC drive systems are constructed in such a way that one motor receives power from one inverter and uses vector control as the basic control principle. However, in some cases there is a need to power several motors in parallel from a single inverter, that minimizes the size, weight and cost of such a system. The most common examples of such systems are rail and urban electric vehicles, where two to four induction motors are connected to drive in parallel. Control of such a system is a difficult task, especially in conditions of unbalanced loads on the motors, that can occur in conditions of different adhesion of wheels with rails. The inability to provide individual control of the motor when powered by a single inverter can lead to a decrease in the safety level of such a vehicle due to the loss of stability when changing the current value of the adhesion coefficient of individual wheel pairs. Mechanical processes in the traction system are analyzed, in which each wheel pair is driven by a separate motor powered by a common inverter. It is shown that the identity of the values of the adhesion coefficients is an important condition for the stability of such a system, that cannot be guaranteed in the actual practice of the operation of the vehicle. Therefore, the development and research of control systems that are capable of operating the system in a variety of rail / road conditions is an important direction for the further development of such systems. The structure of mathematical model of traction electromechanical system consisting of two induction motors powered by one inverter is proposed. The adjustable-speed control is based on the scalar control system, that is the easiest to implement because it does not require the estimation of the state variables of the system components. Sinusoidal pulse width modulation is selected as the switch control signal method. Operation of traction electromechanical system with scalar frequency control law is investigated by mathematical modeling. It has been proven that changing the characteristics of a single wheel pair's adhesion can lead to a loss of stability by a system that is unacceptable in terms of providing a comfortable and safe operation of the vehicle.*

**Keywords:** traction electric drive, scalar control, adhesion, mathematical model, frequency control