

Ю. В. Шевчук, асп.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНОГО ГАЛЬМІВНОГО МОМЕНТУ ТРАМВАЯ З УРАХУВАННЯМ ЗОВНІШНІХ ВПЛИВІВ НА МАРШРУТІ

Створено комп'ютерну модель системи визначення механічного гальмівного моменту з урахуванням компонентів зовнішніх взаємодій у середовищі Matlab Simulink, яка дозволяє швидко провести налагодження коефіцієнтів передачі системи на роботу з тяговими двигунами в генераторному режимі та механічних гальм, що мають різні параметри, і дослідити роботу системи в різних режимах.

Вступ

Враховуючи те, що причиною значної частки дорожньо-транспортних пригод за участю трамваїв несправність тієї чи іншої системи гальмування, які експлуатуються в жорстких умовах і не захищені від дії навколишнього середовища, існує необхідність їх діагностування та підвищення надійності функціонування [1]. Система гальмування трамвайного вагона вважається справною за умови, що гальмівний його шлях з початковою швидкістю 20 км/год на чистих сухих рейках за умов службового гальмування не має перевищувати 12 м, у разі екстреного гальмування — 5,5 м [2].

Перед виїздом трамвайного вагона на маршрут, відбувається тестове випробування гальмівних систем в умовах депо на розміченій ділянці рейок. Гальма вважаються справними, якщо гальмівний шлях вагона з початковою швидкістю 20 км/год на чистих сухих рейках за умов службового гальмування не перевищує 12 м, у разі екстреного гальмування — 5,5 м [2]. Але під час експлуатації вагона на маршруті виникають умови [3], за яких можуть змінитися параметри процесу гальмування, що в свою чергу може викликати аварійну ситуацію. Для перевірки адекватності методу, описаному в роботі [3], проведемо його комп'ютерне моделювання.

Результати дослідження

Для моделювання скористаємось пакетом прикладних програм MathLab, який дозволяє розв'язати широке коло наукових та інженерних задач та містить в своєму складі підпрограму для візуального моделювання Simulink. Simulink дозволяє на екрані з бібліотеки стандартних блоків створювати модель пристрою та здійснювати розрахунки [4].

В роботі [3] пропонується метод визначення механічного гальмівного моменту барабанно-колодкового гальма трамвайного вагона через параметри електричного гальмування на прямолінійній горизонтальній ділянці рейок

$$\begin{cases} M_{\text{ГММ}}(t) = \frac{1}{k_E} \cdot \frac{U_r(t) \cdot I_r(t)}{\omega_{\text{ГБ}}(t)}; \\ t_1 = t_2; \\ k_E = \frac{(v_1 - v_2)(v_1 + v_2)}{(v_1' - v_2')(v_1' + v_2')}, \end{cases} \quad (1)$$

де $M_{\text{ГММ}}$ — гальмівний механічний момент; $\omega_{\text{ГБ}}$ — кутова швидкість гальмівного барабана; U_r — напруга на затискачах пуско-гальмівного реостата у разі гальмування; I_r — струм, що протікає через пуско-гальмівний реостат при гальмуванні $m_{\text{мп}}$ — маса трамвая разом із пасажирами; v_1 — швидкість, з якої розпочалось гальмування вагона на першому етапі; v_2 — швидкість, з якої закінчилося гальмування вагона на першому етапі; v_1' — швидкість, з якої розпочалось гальмування вагона на другому етапі; v_2' — швидкість, з якої закінчилося гальмування вагона на другому етапі; k_E — безрозмірний коефіцієнт відношення енергій електродинамічного та механічного гальмування.

Враховуючи те, що система працює коректно незалежно від схеми ввімкнення тягових двигунів, моделювання можна провести на прикладі одного тягового двигуна із гальмівним механізмом на валу ротора [3]. Модель об'єкта та системи визначення дійсного механічного гальмівного моменту показано на рис. 1.

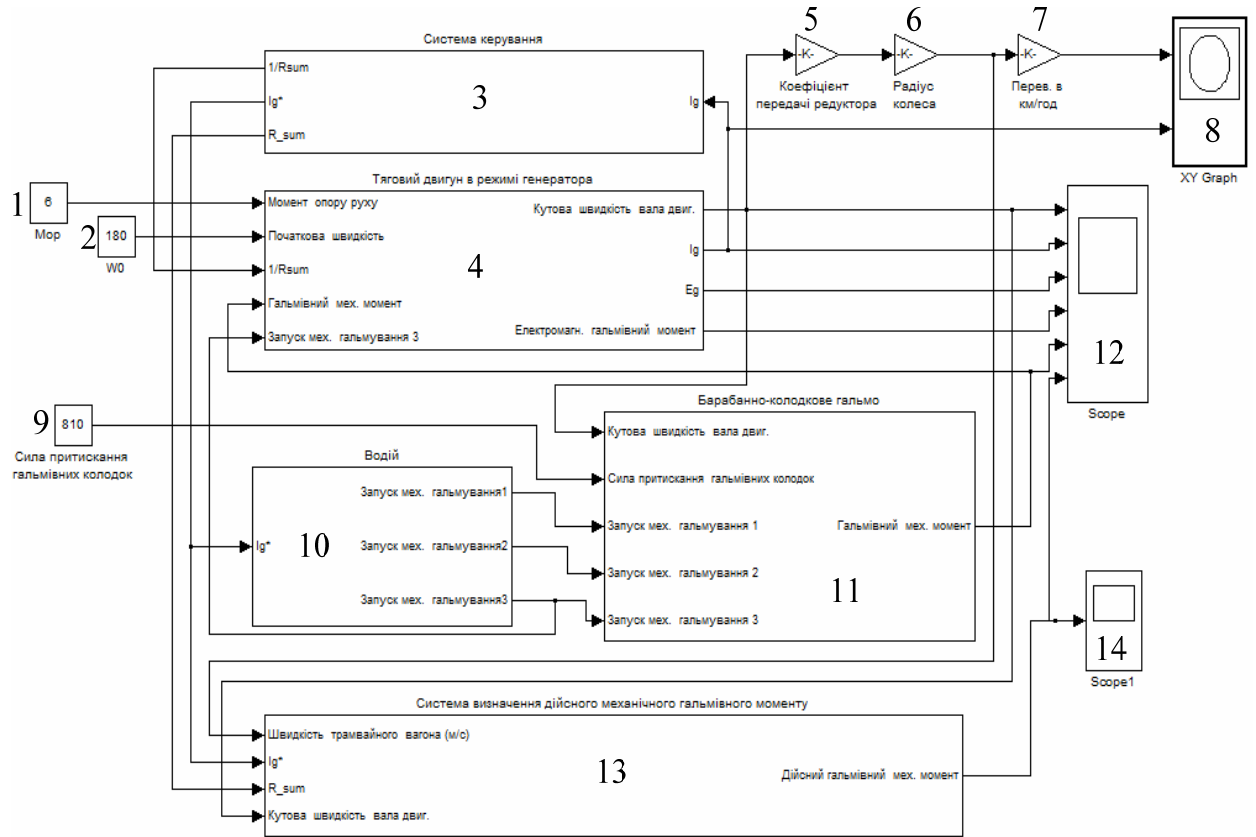


Рис. 1. Модель об'єкта та системи визначення механічного гальмівного моменту з урахуванням зовнішніх впливів в ППП MathLab: 1 – блок задання моменту опору руху трамвайного вагона на тестовій ділянці, 2 – блок задання початкової кутової швидкості вала тягового двигуна, 3 – модель системи керування, 4 – модель тягового двигуна в гальмівному (генераторному) режимі, 5 – модель редуктора, 6 – модель колісної пари, 7 – блок масштабування сигналу швидкості в км/год, 8 – блок візуалізації залежності швидкості руху трамвайного вагона від струму електродинамічного гальмування, 9 – блок задання сили притискання гальмівних колодок до гальмівного барабана механічного гальма трамвая, 10 – блок задання дій водія при гальмуванні (натискання гальмівного контролера), 11 – модель барабанно-колодкового (механічного) гальма, 12 – блок візуалізації струму, ЕРС, електромагнітного гальмівного моменту та кутової швидкості вала двигуна трамвайного вагона, 13 – модель системи визначення механічного гальмівного моменту трамвайного вагона з врахуванням факторів впливу навколишнього середовища

Модель тягового двигуна в режимі генератора показана на рис. 2. Вхідними сигналами моделі є момент опору руху з блока задання опору руху трамвайного вагона на тестовій ділянці (вхід 1), початкова кутова швидкість вала тягового двигуна з блока задання початкової швидкості вала двигуна (вхід 2), сигнал обернений сумарному опору якоря та гальмівного резистора з виходу системи керування (вхід 3), гальмівний механічний момент з виходу барабанно-колодкового гальма (вхід 4), сигнал запуску третього етапу механічного гальмування (вхід 5). Вихідними сигналами моделі є кутова швидкість вала двигуна (вихід 1), гальмівний струм тягового двигуна в режимі генератора (вихід 2), ЕРС тягового двигуна в режимі генератора (вихід 3), електромагнітний гальмівний момент (вихід 4).

В трамвайних вагонах з релейно-контакторною системою керування тяговий двигун підключений до мережі через пуско-гальмівний реостат. Керування тяговим двигуном здійснюється ступінчатою зміною опору реостата в функції струму, модель системи показана на рис. 3. В цьому випадку інтенсивність гальмування задається струмом гальмування (блоки $I_{g1} \dots I_{g8}$), вісім ступенів перемикачів взято довільно. На вхід моделі подається струм гальмування I_g , який порівнюється із максимальним струмом (вважаємо, що модель визначила I_{gmax}) в блоці $comp0$. Таким чином тригер $S-R_9$ та перемикач $Switch$ відсікають частину характеристики струму з похідною більшою нуля. Надалі система намагається утримати заданий гальмівним

контролером (водієм) струм, для чого починає виводити з кола двигуна секції пускогальмівного реостата: R_{sum} від R_{sum0} до R_{sum8} . В компараторах $comp1$ - $comp8$ відбувається порівняння гальмівного струму із заданим, вихід яких підключений до S-входів тригерів S-R_1...S-R_8, які здійснюють перемикання реостата. З виходу моделі отримуємо поточне значення R_{sum} (вихід 3) та $1/R_{sum}$ (вихід 1).

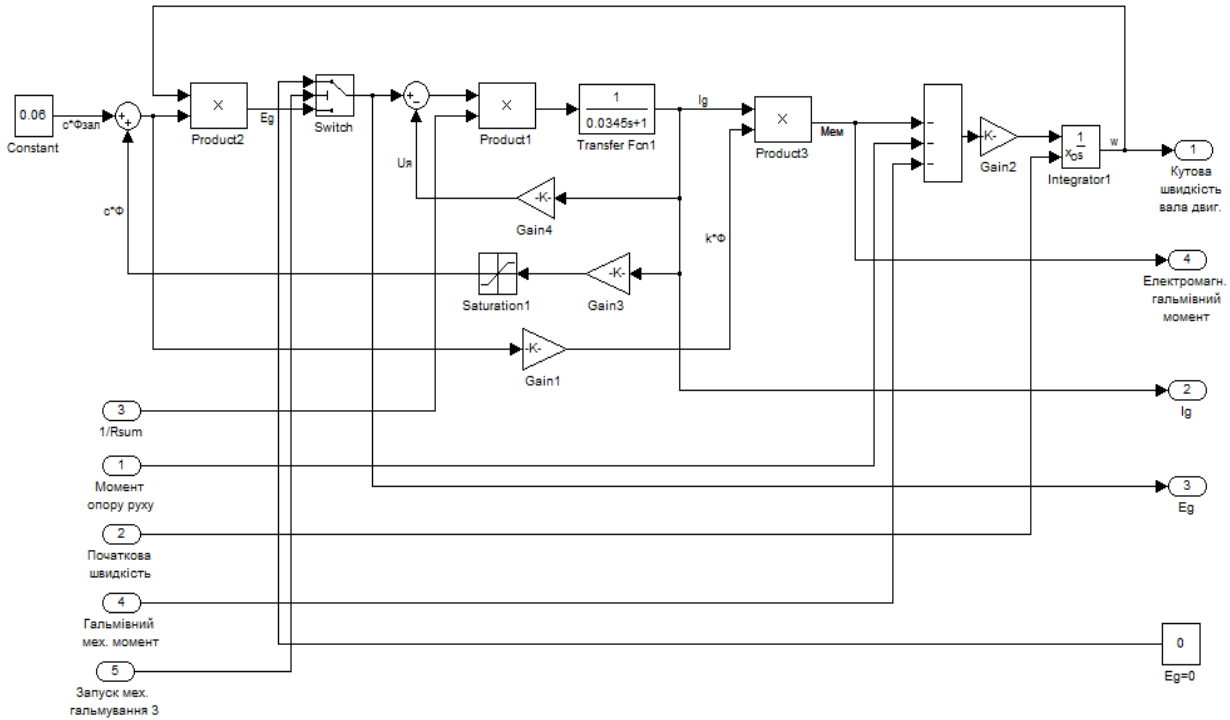


Рис. 2. Модель тягового двигуна постійного струму послідовного збудження в генераторному режимі роботи в ППП MathLab

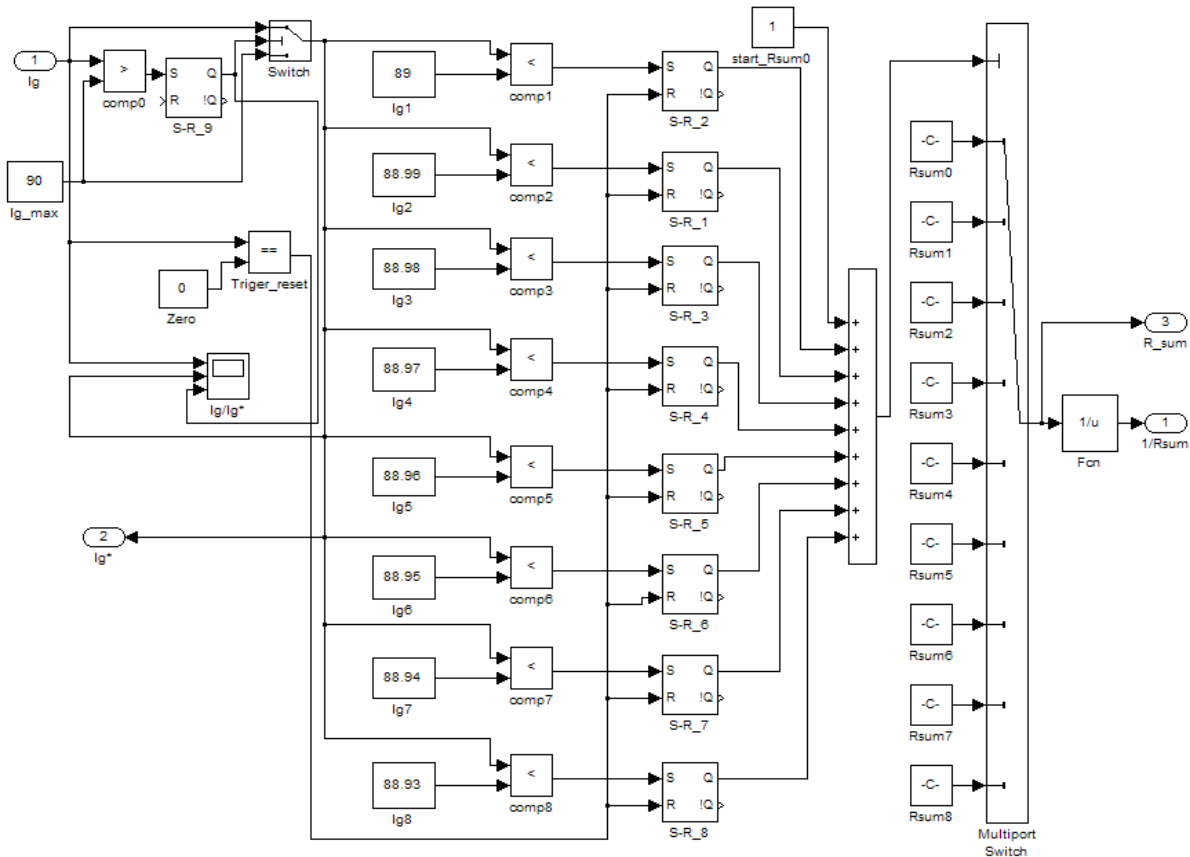


Рис. 3. Модель системи керування тягового двигуна трамвая в ППП MathLab

На рис. 4 показана модель барабанно-колодкового гальма трамвайного вагона із композиційними гальмівними накладками, яка реалізує вираз [5]

$$\phi = 0,44 \frac{(v+150)(F_{np} + 20)}{(2v+150)(4F_{np} + 20)}, \quad (2)$$

де F_{np} – сила притискання гальмівної накладки до гальмівного барабана; v – швидкість проковзування гальмівного барабана відносно нерухомої гальмівної колодки; ϕ – коефіцієнт тертя.

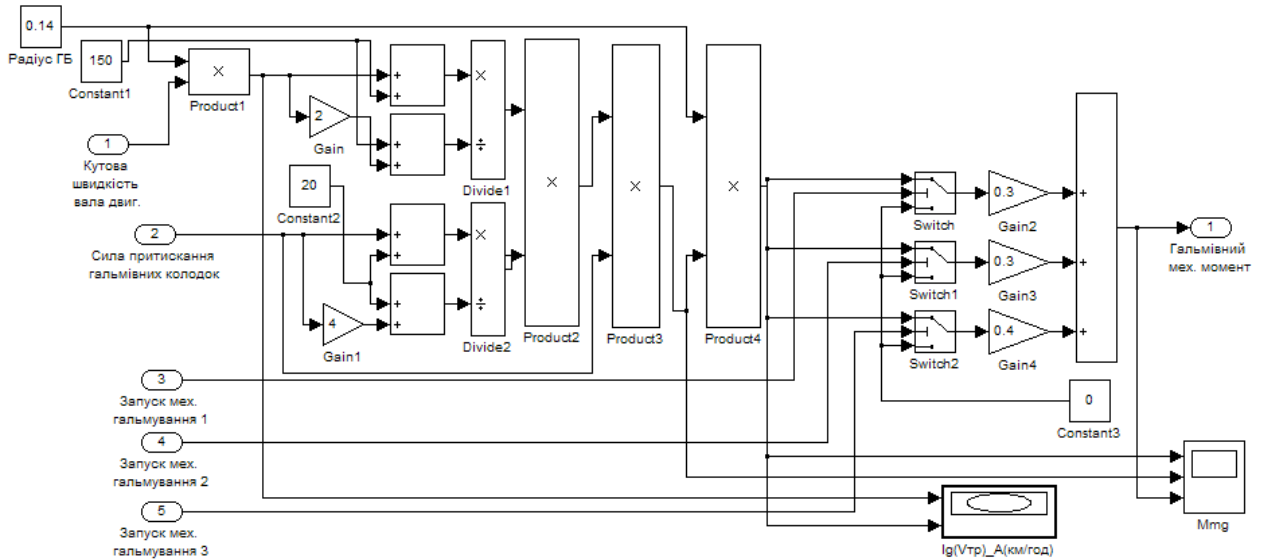


Рис. 4. Модель барабанно-колодкового гальма трамвая із композиційними гальмівними накладками в ППП MathLab

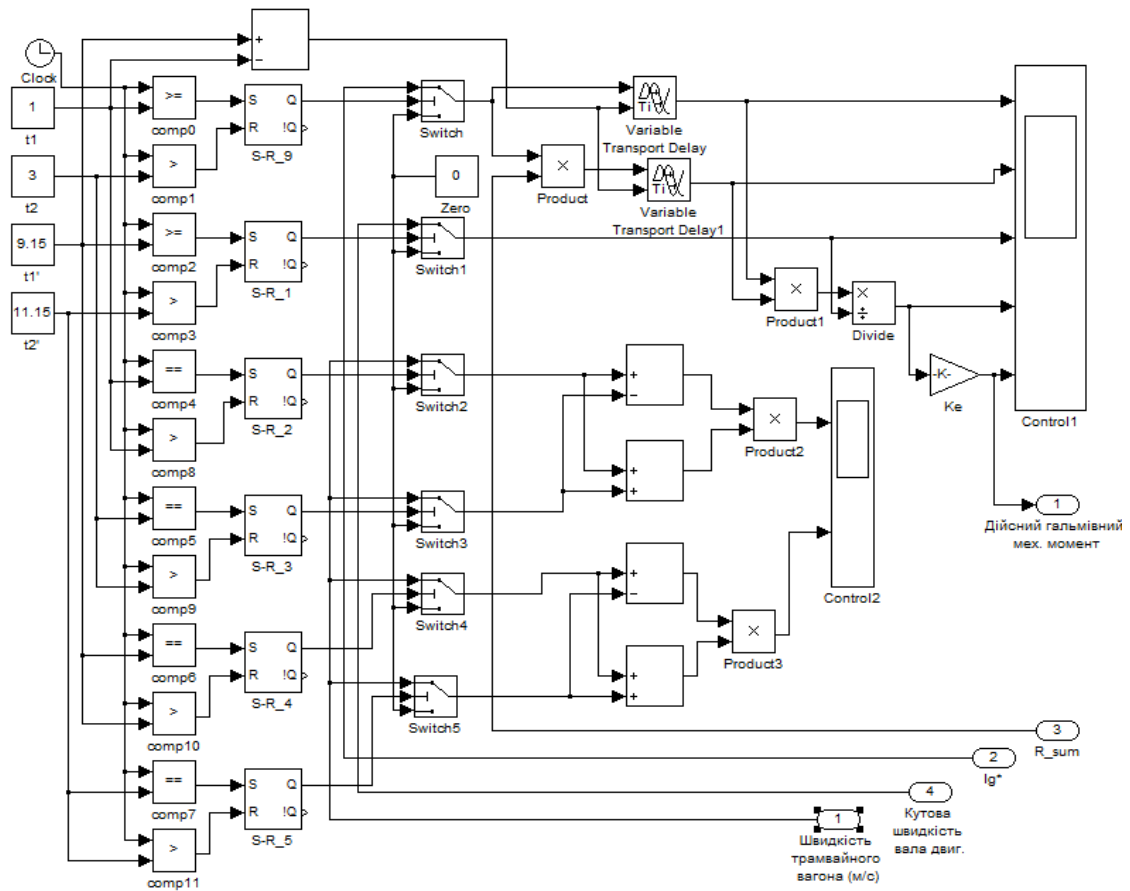


Рис. 5. Модель системи визначення дійсного механічного гальмівного моменту трамвайного вагона на маршруті в ППП MathLab

Вхідними сигналами моделі є сила притискання гальмівних накладок до гальмівного барабана (вхід 2), кутова швидкість обертання гальмівного барабана (вхід 1) та сигнали запуску першого, другого та третього етапів механічного гальмування (входи 3, 4 та 5 відповідно). З виходу моделі отримуємо гальмівний механічний момент.

Модель системи визначення дійсного механічного гальмівного моменту показана на рис 5. Вхідними сигналами системи є швидкість трамвайного вагона (вхід 1), гальмівний струм (вхід 2), сумарний опір кола тягового двигуна (вхід 3), кутова швидкість вала тягового двигуна. Вихідним сигналом системи є дійсний механічний гальмівний момент. Блоки t_1, t_2 задають інтервал, на якому вимірюються параметри електродинамічного гальмування, t'_1, t'_2 – задають інтервал на якому вимірюються параметри механічного гальмування трамвайного вагона на тестовій ділянці рельс, причому $(t_2 - t_1) = (t'_1 - t'_2)$. На відповідних інтервалах фіксується початкова та кінцева швидкості вагона, напруга та струм гальмування, кутова швидкість гальмівного барабана. Блоки *Variable Transport Delay* та *Variable Transport Delay 1* виконують функцію самописців струму та напруги на заданому інтервалі.

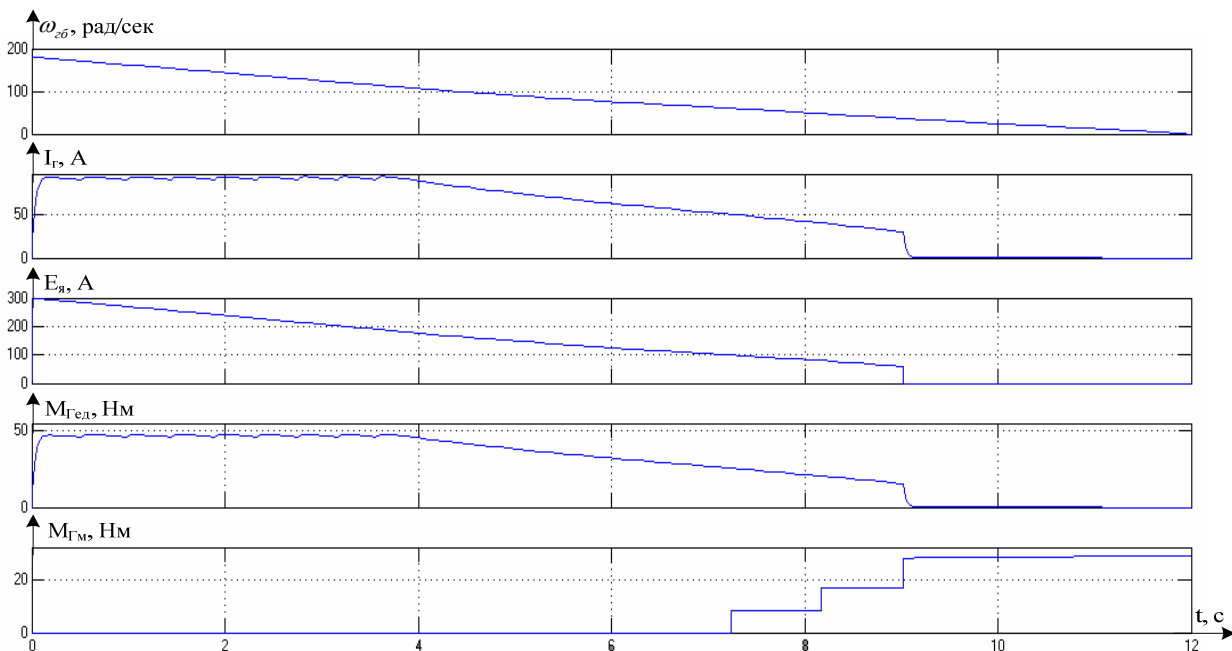


Рис. 6. Графіки швидкості, струму, ЕРС, електричного гальмівного моменту, механічного гальмівного моменту

На рис. 6 показано графіки зміни кутової швидкості ротора, струму гальмування, ЕРС якоря тягового двигуна, електричного гальмівного моменту, механічного гальмівного моменту трамвайного вагона під час робочого гальмування. Для спрощення подальших розрахунків моделювання проведено таким чином, щоб на 9-й секунді електрична складова гальма повністю відключилась, далі працювало тільки механічне гальмо.

На рис. 7а показана залежність гальмівного струму, на 7б механічного гальмівного моменту від швидкості руху трамвайного вагона. Вважаємо, що під час вибігу вагона струм рівний нулю, а в момент початку електричного гальмування, як видно з графіка рис. 7а стрімко наростає. Пульсації при струмі близько 90А пояснюються перемиканнями гальмівного реостата під дією системи керування, яка намагається утримати максимальний гальмівний струм.

Зняті та записані параметри струму та напруги, початкові та кінцеві швидкості вагона, кутова швидкість гальмівного барабана на відповідних інтервалах електричного та механічного гальмування в результаті математичних операцій згідно виразу (1) дають на виході моделі дійсний гальмівний механічний момент трамвайного вагона на тестовому інтервалі.

Дійсний гальмівний механічний момент, абсолютна та відносна похибки визначення моменту показані на рис 8. Отримані результати на вибраному інтервалі (рис. 8) можна порівняти із заданим графіком гальмівного механічного моменту.

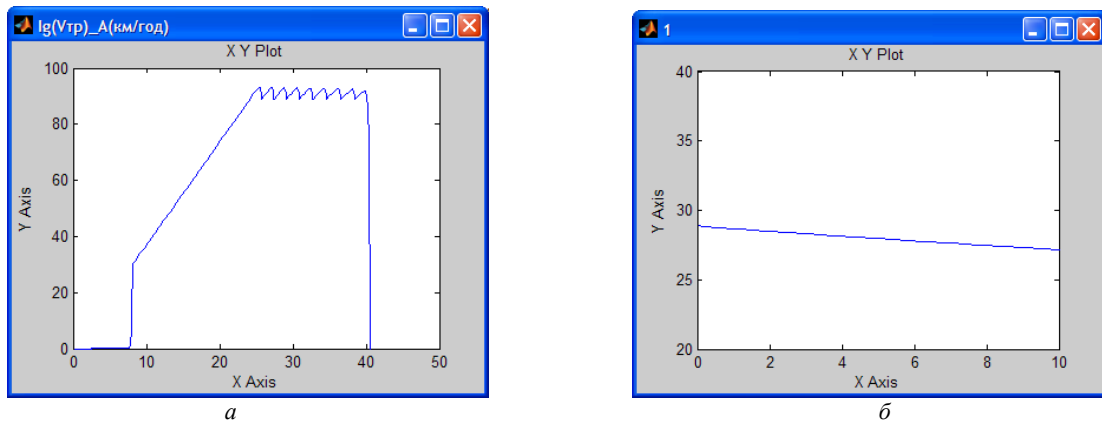


Рис. 7. Графіки залежності: а — гальмівного струму, б — механічного гальмівного моменту від швидкості трамвайного вагона

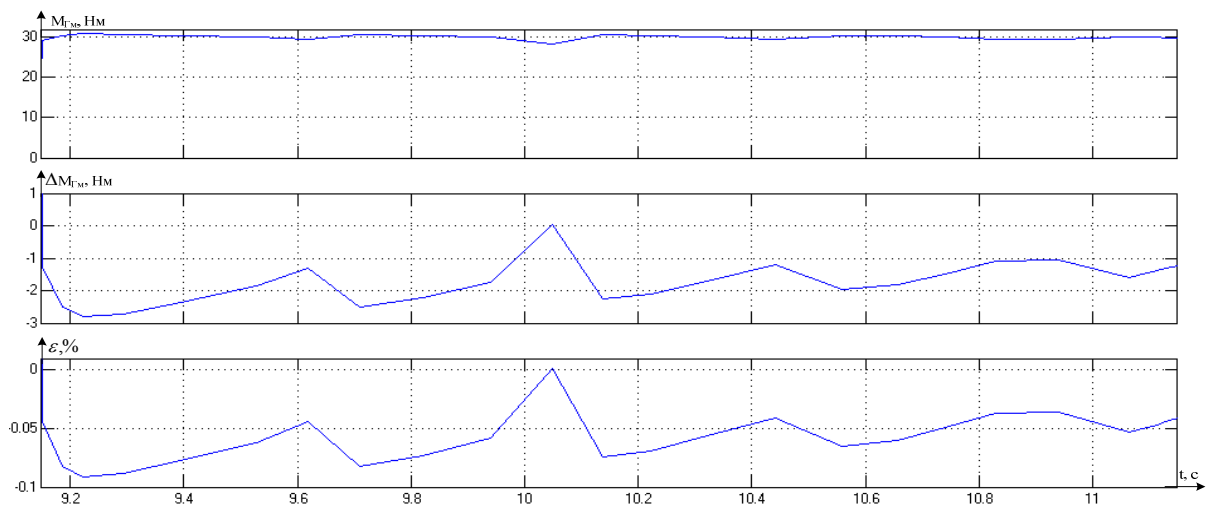


Рис. 8. Графік дійсного гальмівного механічного моменту, абсолютна та відносна похибки його визначення

Висновки

Згідно з відомим методом визначення реального механічного гальмівного моменту барабанно-колодкового гальма трамвайного вагона через параметри електричного гальмування на прямолінійній горизонтальній ділянці рейок розроблено його комп'ютерну модель, яка адекватно відображає процес гальмування трамвая з урахуванням зовнішніх впливів та показує, що отриманий в моделі гальмівний момент знаходиться в межах допустимого довірчого інтервалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Веклич В. Д. Диагностирование технического состояния троллейбусов / В. Д. Веклич. — М. : Транспорт, 1990. — 295 с.
2. Правила експлуатації трамвая та троллейбуса. Затв. наказом Дежжитлокомунгоспу України № 103 від 10.12.96 р. Зареєстровано в Мінюсті України №66/1870 від 16.03.97 р. Введено в дію з 16.03.97 р. — К. : Держжитлокомунгосп, 1997. — 104 с.
3. Дяконов В. П. Simulink 4. Специальный справочник / Дяконов В. П. — СПб. : Питер, 2002. — 528 с.
4. Шевчук Ю. В. Визначення дійсного гальмівного моменту трамвайного вагона на маршруті / Ю. В. Шевчук // Електротехнічні і комп'ютерні системи. — 2011. — № 3(79) — С. 155 — 156.
5. Асадченко В. Р. Автоматические тормоза подвижного состава / Асадченко В. Р. — М. : Маршрут, 2006. — 392 с. — ISBN 5-89035-275-X.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

Стаття надійшла до редакції 10.10.11
Рекомендована до друку 13.12.11

Шевчук Юрій Володимирович — аспірант кафедри електромеханічних системи автоматизації в промисловості і на транспорті.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця