

УДК 519.876.5:681.586

ПРИЛИПКО А. А., к.т.н., доцент (Український державний університет залізничного транспорту),

ЗМІЙ С. О., к.т.н., доцент (Український державний університет залізничного транспорту),

БОЙНИК О. А., магістр (Харківська загальноосвітня школа № 175)

Моделювання точкових колійних датчиків з підвищеною завадостійкістю

Статтю присвячено моделюванню точкових колійних датчиків з підвищеною завадостійкістю, що використовуються у системах залізничного транспорту. Побудовано основний контур та структурну схему адаптивної системи точкового колійного датчика з підвищеною завадостійкістю, що самоналаштовується. Виконано синтез адаптивних модальних законів управління нелінійними системами для аналізу точкових колійних датчиків. Реалізовано в пакеті Simulink модель точкових колійних датчиків з підвищеною завадостійкістю. У результаті моделювання отримано сигнали у контрольних точках, що свідчать про достатню завадостійкість точкового колійного датчика. Крім того, виконано моделювання впливу колеса, який фіксується точковим колійним датчиком, на коефіцієнт зв'язку між живильною та приймальними котушками індуктивності.

Ключові слова: точковий колійний датчик, підвищення завадостійкості, системи лічення осей, адаптивна система

Вступ

Точкові колійні датчики (ТКД) використовуються для автоматичного контролю на залізничному транспорті у різних системах, таких як ПОНАБ, КТСМ, ДИСК, ГАЦ, як у комплексі, так і окремо. Колійні датчики електричним сигналом фіксують розташування колеса вагона або локомотива над датчиком у певній точці рейкової колії. ТКД, як правило, розміщується безпосередньо на рейці, що підвищує вплив зовнішніх факторів на параметри функціонування. Зважаючи на специфічні умови експлуатування, до датчиків висуваються жорсткі вимоги. Це зумовлено виникненням достатньо великого зворотного тягового струму за рахунок пропуску спарених поїздів, який сприяє збудженню значного магнітного потоку біля рейки залізничної колії. Крім цих факторів, на первинні перетворювачі ТКД мають вплив магнітні поля як за рахунок залишкової намагніченості, так і за рахунок впровадження неферомагнітних рейкових накладок. Тому є актуальним захист первинного перетворювача від магнітного поля рейки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомі точкові колійні датчики з підвищеною завадостійкістю розглянуто в [1–8], наведено їх складові та принцип дії. У зазначених дослідженнях та публікаціях бракує інформації про їх недоліки та способи усунення. У роботі [8] досліджено загальні вимоги, що висуваються до точкових колійних датчиків, але не наведено способів підвищення їх завадостійкості. Крім того, автори не висвітлили у достатній мірі математичної основи підвищення завадостійкості відповідних датчиків.

Мета статті

Для дослідження точкового колійного датчика з підвищеною завадостійкістю виконати синтез моделі проходження колеса та адаптивну модель датчика.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для аналізу ТКД з підвищеною завадозахищеністю використано синтез адаптивних модальних законів управління нелінійними системами [9, 10]. До складу адаптивної системи входять (рис. 1) об'єкт управління (ОУ) (два магнітопроводи з обмотками), пристрій управління об'єктом (ПУО) і пристрій управління самоналаштуванням (ПУС). ОУ і пристрій управління утворюють основний контур системи (контур реалізує принцип негативного зворотного зв'язку). ПУО контролює параметри вихідного сигналу по каналу 1 і на основі цієї інформації здійснює керуючий вплив 2. Пристрій управління самоналаштуванням разом з ПУО утворюють контур самоналаштування або адаптації.

$$D(\lambda) = \begin{vmatrix} |a_{11} - \lambda \dots a_{1n}| \\ \dots \\ |a_{n1} \dots a_{nn} - \lambda| \end{vmatrix} \quad (6)$$

$$D'(\lambda) = \left. \frac{dD(\lambda)}{d\lambda} \right|_{\lambda=\lambda_c} \quad (7)$$

де λ_i – корені алгебраїчного рівняння $D(\lambda)=0$.

Перетворення (2) буде неособливим за умов:

- корені рівняння (7) не кратні;
- система (2) повністю керована по входу $f(\sigma)$,

тобто задовольняється нерівність $\det [b \ Ab \dots A^{n-1}b] \neq 0$.

Якщо ці умови не виконуються, то змінюється аналітичний вираз. Далі визначивши, що коефіцієнти a_{ki} , b_k – фіксовані числа, а коефіцієнти закону управління c_i ($i = 1, \dots, n$) є параметрами, то вони утворюють евклідовий простір C^n . У цьому просторі розкриваються перетини 2-го роду $G_2^{(s,r)}$ у вигляді двомірної гіперплощини системою лінійних алгебраїчних рівнянь щодо невідомих c_k :

$$\sum_{k=1}^n c_k N_k(\lambda_i) = \delta_{is} A_s + \delta_{ir} A_r, \quad i = 1, \dots, n, \quad (8)$$

де A_s, A_r – довільні постійні;

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 0, & i \neq j, \\ 1, & i = j, \quad j = s, r. \end{cases}$$

Матриця $[a_{ki}]$ має i дійсні власні значення. При різному виборі λ_s, λ_r системи (8) визначають

$$N_2 = [n + s(s=2)] \quad (9)$$

різних перетинів $G_2^{(s,r)}$ у просторі C^n .

Для кожного перетину $G_2^{(s,r)}$ система (4) набуває вигляду:

$$\frac{dz_k}{dt} = \lambda_k z_k + f(\sigma), \quad k = 1, \dots, n, \quad \sigma = \gamma_s z_s + \gamma_r z_r, \quad (10)$$

і містить незалежну підсистему зі змінними z_s, z_r, σ .

Крім того, підсистема другого порядку в перерізі, що входить у систему (10), під час дослідження перетворюється до вигляду:

$$\ddot{\sigma} - (\lambda_s + \lambda_r) \dot{\sigma} + \lambda_s \lambda_r \sigma = -(\lambda_s \lambda_r + \lambda_r \lambda_s) u + (\lambda_s + \lambda_r) \frac{du}{dt}, \quad (11)$$

$$u = f(\sigma),$$

де $\frac{du}{dt} = \frac{df(\sigma)}{dt} = \frac{df(\sigma)}{d\sigma} \frac{d\sigma}{dt}$.

Для загального вигляду припустимо, що функція $f(\sigma)$ – об'єднання типових нелінійностей (петля гістерезису, мертва зона, насичення). Тоді неоднозначна функція $u = f(\sigma, p\sigma, u, pu)$ може бути записана у вигляді:

$$u = \begin{cases} -k\sigma + kh_1 - k\sigma_\epsilon \quad sqn \quad pu \\ \quad \text{при } pu \neq 0 \text{ и } -k(h_2 - h_1) \leq u \leq 0 \\ -k\sigma - kh_1 - k\sigma_\epsilon \quad sqn \quad pu \\ \quad \text{при } pu \neq 0 \text{ и } 0 \leq u \leq -k(h_2 - h_1) \\ \text{const} \\ \quad \text{при } |u + k\sigma - kh_1| \leq k\sigma_\epsilon \text{ и } -k(h_2 - h_1) \leq u \leq 0 \\ \quad \text{при } |u + k\sigma + kh_1| \leq k\sigma_\epsilon \text{ и } 0 \leq u \leq -k(h_2 - h_1) \\ -k(h_2 - h_1) \quad sqn \quad \sigma \quad \text{при } |\sigma| \geq h_2 + \sigma_\epsilon; \\ 0 \quad npu \quad |\sigma| \leq h_1 - \sigma_\epsilon, \quad h_1 > \sigma_\epsilon, \end{cases} \quad (12)$$

де $k, \sigma_\epsilon, h_1, h_2$ – позитивні дійсні постійні.

Надалі для досліджень використовується петля гістерезису і насичення.

Таке дослідження основного контуру дає змогу здійснити параметричний синтез, при якому система буде задовольняти основні вимоги стійкості станів рівноваги, які необхідні для усунення впливу перешкод на первинний перетворювач.

Для компенсації небажаних змін якості системи управління при зміні матриці A на приріст ΔA вводиться контур самоналаштування коефіцієнтів закону управління

$$c = Ky, \quad (13)$$

де K – матриця розміром $n \times n$.

Виходячи із системи (1), використовуючи формулу (13), вираз для σ набуває вигляду

$$\sigma = (Ky)^T \cdot y = y^T K^T y, \quad (14)$$

і тому рівняння вихідної системи (1) перетвориться в

$$\frac{dy}{dt} = Ay + \Delta Ay + bf(\delta), \quad \sigma = y^T K^T y. \quad (15)$$

Виразу (15) відповідає структурна схема, показана на рис. 3.

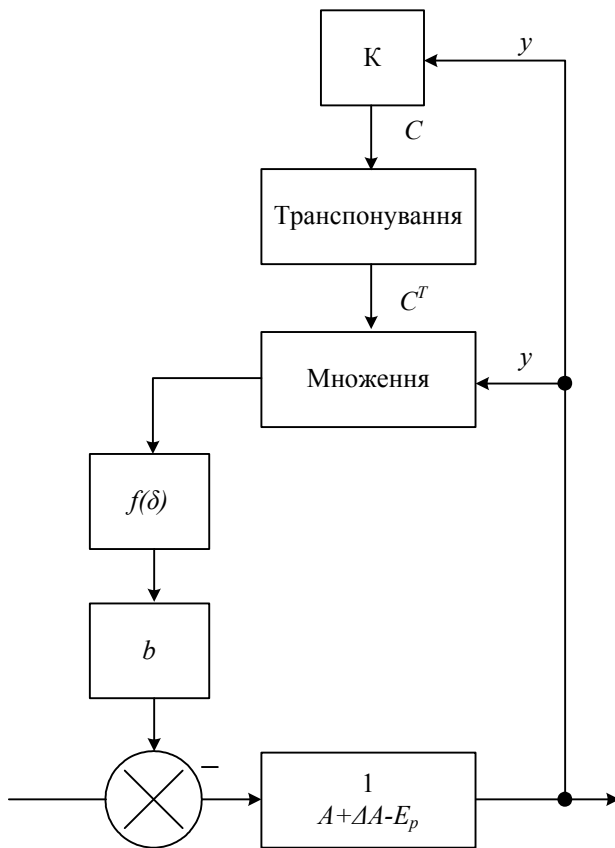


Рис. 3. Структурна схема адаптивної системи ТКД, що самоналаштовується

Моделювання точкових колійних датчиків з підвищеною заводстійкістю. Перед тим як будувати модель, необхідно змоделювати вплив колеса, який фіксується ТКД, на коефіцієнт зв'язку між живильною та приймальними котушками індуктивності [11].

У результаті моделювання впливу колеса необхідно отримати два сигнали:

$\Delta k_{зв1}$ – зміна коефіцієнта зв'язку між першою приймальною і живильною котушками індуктивності під дією колеса, що фіксується;

$\Delta k_{зв2}$ – зміна коефіцієнта зв'язку між другою приймальною і живильною котушками індуктивності під дією колеса, що фіксується.

Вони повинні мати дзвіноподібний вигляд.

Вхідними сигналами до моделювальної системи є такі:

– $k_{звM}$ – максимальне значення коефіцієнтів зв'язку $\Delta k_{зв1}$ та $\Delta k_{зв2}$ (в моделі позначається як вхід Kzdm);

– l_d – довжина дії ТКД (у моделі позначається як вхід Zn);

– V_k – швидкість колеса K (у моделі позначається як вхід Spd).

Відповідно вихідними сигналами з моделювальної системи є такі:

– $\Delta k_{зв1}$ – в моделі позначається як вихід Kzd1;

– $\Delta k_{зв2}$ – в моделі позначається як вихід Kzd2.

При моделюванні проходженні колеса виконуються такі дії.

1. Розраховується час проходження колеса через зону дії ТКД за формулою:

$$t = \frac{l_d}{V_k}. \quad (16)$$

2. У певний час, який розраховується у моделі, моделюються сигнали Kzd1 та Kzd2.

Для моделювання сигналів Kzd1 та Kzd2 моделюється один період функції синуса. Це дозволяє змоделювати зміну потрібних коефіцієнтів більш близько до реальної зміни (сигнал дзвіноподібного вигляду).

Модель має вигляд, зображений на рис. 4.

Головними блоком в моделі проходження колеса є PerSin1 та PerSin2. Саме вони генерують потрібний сигнал. Їм на вхід подається частота для функції синуса (вхід Frg) та сигнал часу (вхід Time). Саме в той момент, коли починається подаватися сигнал часу, тоді починається генерація періоду синуса, тобто сигнал зміни відповідного коефіцієнта.

Генерація сигналу часу виконується за допомогою блока Timer. У блоку StartTime задається час початку модуляції проходження колеса. Потім виконується затримка сигналу часу завдяки блоку Delay1, на входи якого подається сигнал часу (вхід Time) та значення потрібної затримки (вхід Delay).

Час проходження половини зони дії датчика колесом розраховується блоком HalfTimeTKD

$$t = \frac{9l_d}{5V_k}. \quad (17)$$

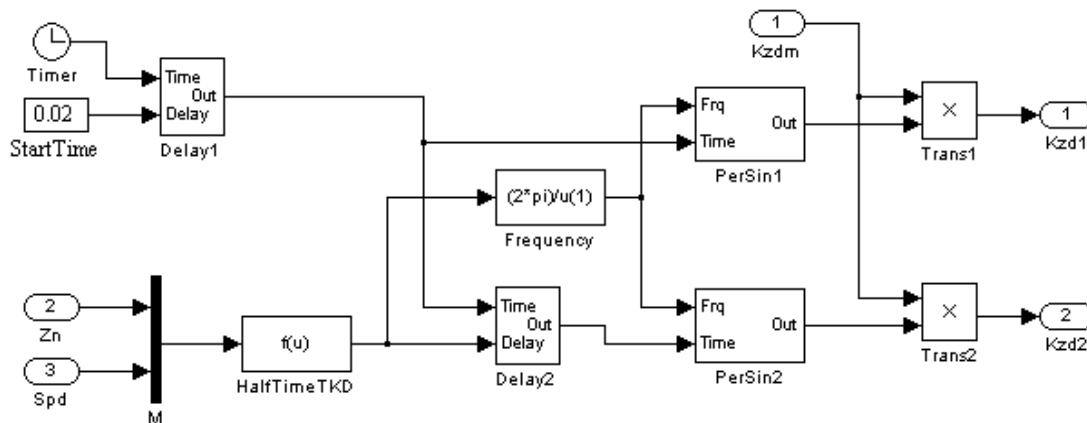


Рис. 4. Модель проходження колеса

Сигнали Zn та Spd заводяться у цей блок за допомогою блока М, який формує відповідну матрицю сигналів.

Частота, яка потрібна для блоків PerSin1 та PerSin2, розраховується за допомогою блока Frequency:

$$\omega = \frac{2\pi}{t} \quad (18)$$

У блок Frequency (18) записується $(2 * \pi) / u[1]$, де $u[1]$ – час проходження половини зони дії датчика колесом.

Потім розрахована частота подається на блоки PerSin1 та PerSin2.

Блок Delay2 потрібний для затримки сигналу часу на час t (сигнал з блока HalfTimeTKD) для блока PerSin2, для того щоб зміна коефіцієнта $\Delta k_{зв2}$ почалась тільки після того, як колесо заїде в зону дії другої котушки.

Після цього сигнали з блоків PerSin1 та PerSin2 (амплітуда яких дорівнює одиниці) перемножуються на $k_{зв1}$ за допомогою блоків Trans1 та Trans2.

Модель ТКД побудовано в пакеті Simulink [12,13,14] на основі викладених вище початкових даних (рис. 5).

Для реалізації логічних блоків моделі використовується блок Fcn, який дозволяє реалізувати будь-яку функцію з будь-якою кількістю вхідних параметрів. Тут параметри заводяться в блок за допомогою вектора u , а доступ до елементів цього вектора виконується за допомогою індексів.

Для блока K1

$$u[1] * ((u[6] + u[2]) * u[3] * u[7] * \text{sqrt}(u[4] * u[5])),$$

де $u[1]$ – змінний струм у живильній котушці

індуктивності ($\dot{I}\tilde{A}$) (джерело – блок Ig1);

$u[2]$ – зміна коефіцієнта зв'язку між першою приймальною та живильною котушками індуктивності ($\Delta k_{зв1}$) (джерело – блок Kzd1 або Wheel);

$u[3]$ – кількість витків живильної котушки індуктивності ($W_{ж}$) (джерело – блок Wg);

$u[4]$ – коефіцієнт зв'язку між індуктивністю живильної котушки ЛЖ і кількістю її витків WЖ ($k_{ЖЛ}$) (джерело – блок KgL);

$u[5]$ – коефіцієнт зв'язку між індуктивністю приймальної котушки L і кількістю її витків $W_{пр}$ (k_L) (джерело – блок KL);

$u[6]$ – коефіцієнт зв'язку приймальної і живильної котушки індуктивності за відсутності колеса ($k_{зв}$) (джерело – блок Kz);

$u[7]$ – кількість витків приймальної котушки індуктивності ($W_{пр}$) (джерело – блок Wpr).

Для блока K2

$$u[7] * ((u[4] + u[6]) * u[1] * u[5] * \text{sqrt}(u[2] * u[3])),$$

де $u[1]$ – кількість витків живильної котушки індуктивності ($W_{ж}$) (джерело – блок Wg);

$u[2]$ – коефіцієнт зв'язку між індуктивністю живильної котушки ЛЖ і кількістю її витків WЖ ($k_{ЖЛ}$) (джерело – блок KgL);

$u[3]$ – коефіцієнт зв'язку між індуктивністю приймальної котушки L і кількістю її витків $W_{пр}$ (k_L) (джерело – блок KL);

$u[4]$ – коефіцієнт зв'язку приймальної і живильної котушки індуктивності за відсутності колеса ($k_{зв}$) (джерело – блок Kz);

$u[5]$ – кількість витків приймальної котушки індуктивності (W_{pr}) (джерело – блок W_{pr});

$u[6]$ – зміна коефіцієнта зв'язку між першою приймальною і живильною котушками індуктивності ($\Delta k_{зв1}$) (джерело – блок $Kzd2$ або $Wheel$);

$u[7]$ – змінний струм у живильній котушці індуктивності (джерело – блок $Ig2$).

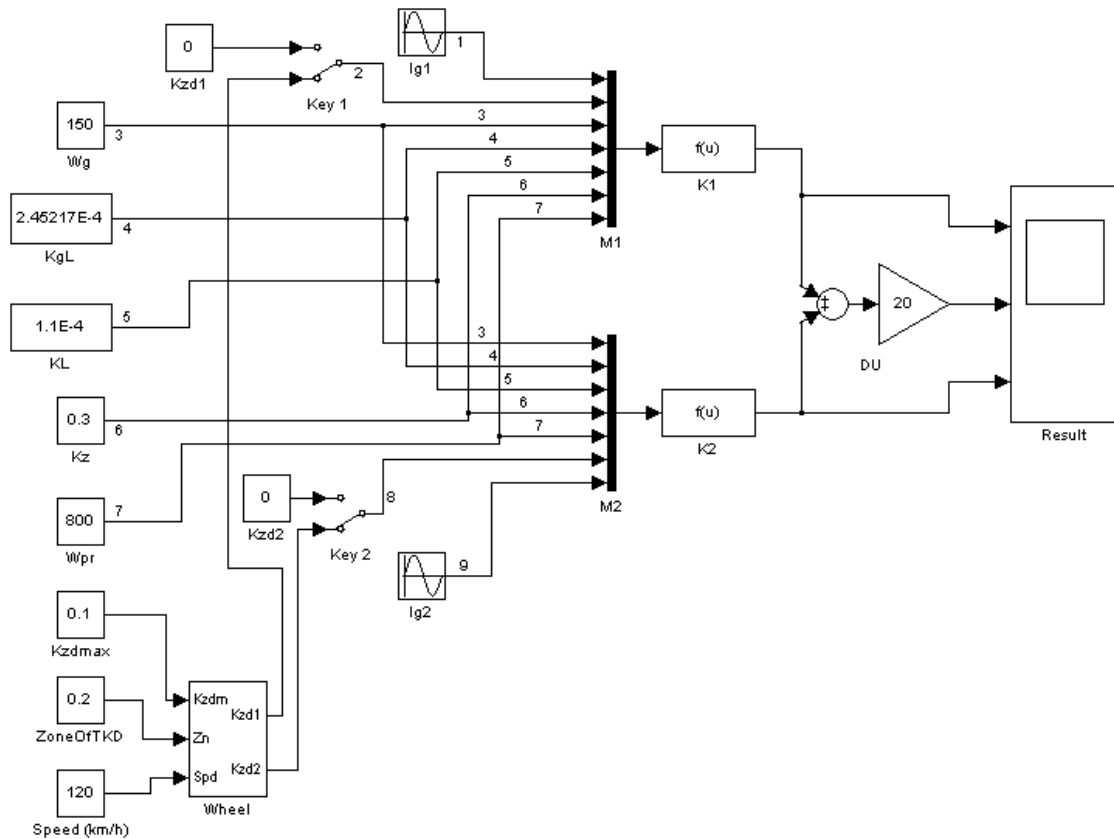


Рис. 5. Модель ТКД, що реалізована в пакеті Simulink

Для створення вектора u в моделі використовується компонент Mux , який дозволяє об'єднати декілька значень в одному векторі. У нашому випадку об'єднуються сім входних параметрів. У моделі використовуються два такі компоненти – блоки $M1$ і $M2$.

Для реалізації функцій диференціального підсилювача в моделі використовуються компонент Sum та компонент $Gain$ (блок DU).

Для відображення результату використовується компонент $Scope$ з трьома входами (блок $Result$).

Блоки $Kzd1$, $Kzd2$, Wg , KgL , KL , Kz , Wpr , Kzd , $Kzdmax$, $ZoneOfTKD$ та $Speed$ (km/h) реалізовані за допомогою компонента $Constant$. При цьому їх значення записуються в полі $Constant$ Value діалогового вікна $Source$ Block Parameters.

Вхідний параметр (змінний струм у живильній котушці індуктивності) реалізований за допомогою компонента $Sine$ Wave (блоки $Ig1$ і $Ig2$). При цьому для обох випадків задається однакова амплітуда і частота.

Для реалізації другого струму (блок $Ig2$) задається зсув по фазі на π , що відповідає постановці завдання (приймальні котушки індуктивності сполучені зустрічно). При цьому амплітуда, частота і зсув фаз указуються відповідно в полях $Amplitude$, $Frequency$ і $Phase$ діалогового вікна $Source$ Block Parameters.

Зміна коефіцієнта зв'язку між котушками індуктивності (живильної і приймальної) при проходженні колеса в зоні дії ТКД реалізована за допомогою блоку $Wheel$, який є моделлю проходження колеса в зоні дії ТКД, яка реалізована раніше. Параметри, що входять до цього блока, є сигналами з блоків $Kzdmax$ (максимум зміни даного коефіцієнту), а $ZoneOfTKD$ (довжина зони дії ТКД) та $Speed$ (km/h) (швидкість проходження колеса через зону).

Для перемикання між альтернативами реалізації коефіцієнта зв'язку між котушками індуктивності (живильної та приймальними) використовується компонент $Manual$ Switch для ручного вибору джерел даного параметра.

Тестування моделі.

Коефіцієнт Δk_{361} зростає з 0,02 с моделювання і до 0,0215 с, потім він спадає до часу 0,023 с. Потім набуває значення 0. Коефіцієнт Δk_{362} зростає, починаючи з 0,023 с моделювання і до 0,0245 с, потім він спадає до часу 0,026 с. Після набуває значення 0.

Струм I_{Γ} для обох котушок індуктивності узятий з однаковою частотою та амплітудою, але з протилежною фазою (живильний струм для другої приймальної котушки зсунутий на π).

При тестуванні побудованої моделі з дією колеса одержали такі результати (рис. 6-7).

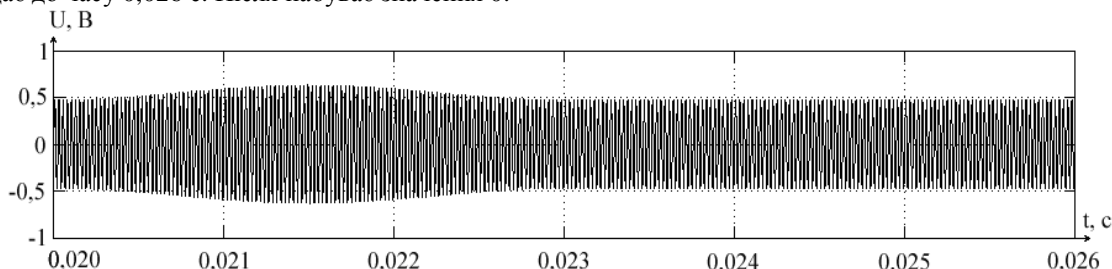


Рис. 6. Напруга на виході з першої (другої) приймальної котушки індуктивності

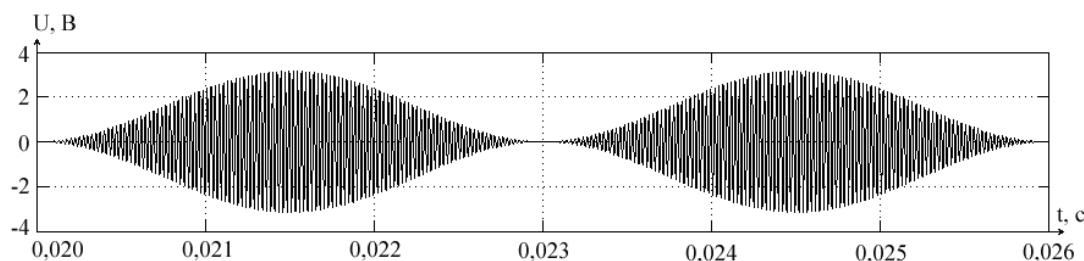


Рис. 7. Напруга на виході з диференціального підсилювача

Висновки

З поданих графіків виходить, що побудована модель відповідає модельованому ТКД.

При тестуванні моделі за початкові дані були поставлені реальні значення, тому результат моделювання являє собою початкові дані для побудови реального ТКД.

Таким чином, отримані дані надають можливість удосконалити існуючі точкові колійні датчики та оптимізувати їх параметри під конкретні потреби.

Розроблена модель проходження колеса може бути використана у подальших дослідженнях.

Список використаних джерел

- Колійний датчик для визначення положення осі колеса та рахунку осей: пат. UA 59424. Омеляненко В. І., Волченко Б. Г., Волченко В. Г., Лисенко О. О.; Товариство з обмеженою відповідальністю «ДСКТБ СКАТ»; опубл. 15.09.2003. Бюл. № 9. – 13 с.
- Кириленко А. Г., Груша А. В. Счетчики осей в системах железнодорожной автоматики и телемеханики: учеб. пособие. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2003. 75 с.
- Щиголов С. А., Шевцов В. А., Сергеев Б. С. Области применения устройств счета осей в системах СЦБ. *Новые устройства и системы автоматики, информатики и связи: сб. науч. трудов.* Екатеринбург: УрГУПС. 2000. Вып. 18 (100). С. 286-291.
- Щиголов С. А., Шевцов В. А., Хохлачев Г. В. и др. Путьовой датчик ДПЭП системы УКП СО. *Автоматика, связь, информатика.* 2001. № 3. С. 9-11.
- Галкин О. В., Шабалин А. Н., Насонов Г. Ф. Многофункциональные датчики счета осей. *Автоматика, связь, информатика.* 2004. № 11. С. 6-8.
- Lau P., Althage K. Рельсовый датчик, устойчивый к воздействию вихревого тормоза. *Железные дороги мира.* 2002. № 12. С. 60-63.
- Кривда М. А. Технология счета осей. Применение в системах ЖАТ. *Автоматика, связь, информатика.* 2007. № 8. С. 10-11.
- Future challenges to wheel detection and axle counting. *Modern Wheel Sensor Systems, SIGNAL + DRAHT.* (103) 9/2011. P.37-43.
- Нелепин Р. А., Камачкин А. М., Туркин И. И., Шамберов В. Н. Алгоритмический синтез нелинейных систем управления / под ред. Р. А. Нелепина. Ленинград: Изд-во ЛГУ 1990. 237 с.
- Воробьева Е. А., Зубов Н. Е., Микрин Е. А., Мисриханов М. Ш., Рябченко В. Н., Тимаков С. Н. Синтез стабилизирующего управления космическим аппаратом на основе обобщенной

формулы Аккермана. *Изв. РАН. Теория и системы управления*. 2011. № 1. С. 116–126.

11. Бабаев М. М., Прилипко А. А. Математична модель колійного перетворювача індукційного типу *Зб. наук. праць ДонІЗТ*. Донецьк, 2009. Вип. 19. С. 33-43.
12. Смит Джон М. Математическое и цифровое моделирование для инженеров и исследователей. Москва : Машиностроение, 1980. 356 с.
13. Дьяконов В. П., Абраменко И. В. MATLAB 5.0/5.3 Система символьной математики. Москва : НОЛИЖД, 1999. 640 с.
14. Черных И. В. SIMULINK: Среда создания инженерных приложений / под общ. ред. В. Г. Потемкина. Москва : ДИАЛОГ – МИФИ, 2003. 496 с.

Прилипко А. А., Змій С. А., Бойник О. А. Моделирование точечных путевых датчиков с повышенной помехоустойчивостью.

Аннотация. В настоящее время точечные путевые датчики получают все большее распространение для контроля местоположения подвижного состава на железнодорожном и промышленном транспорте. Этот факт требует усовершенствования существующих датчиков для выполнения требований железнодорожного и промышленного транспорта. Статья посвящена моделированию точечных путевых датчиков с повышенной помехоустойчивостью, используемых в системах железнодорожного транспорта. Построен основной контур и структурная схема адаптивной системы точечного путевого датчика с повышенной помехоустойчивостью. Выполнен синтез адаптивных модальных законов управления нелинейными системами для анализа точечных путевых датчиков. Реализована в пакете Simulink модель точечных путевых датчиков с повышенной помехоустойчивостью. В результате моделирования получены сигналы в контрольных точках, которые свидетельствуют о достаточной помехоустойчивости точечного путевого датчика. Кроме того, выполнено моделирование влияния движения колеса, которое фиксируется точечным путевым датчиком, на коэффициент связи между питающей и приемными катушками индуктивности.

Ключевые слова: точечный путевой датчик, повышение помехоустойчивости, системы счета осей, адаптивная система

Prilipko A., Zmii S., Boynik O. Modeling of point track sensors with high noise immunity.

Abstract. Nowadays, spot track sensors are becoming more widespread for monitoring the location of rolling stock in railway and industrial vehicles. Due to the fact that point track sensors are attached directly to the rail, this leads not only to the occurrence of significant mechanical and electromagnetic interference, but also the need to control the correctness of its fastening. These facts require the improvement of existing

sensors and the development of new ones to meet the requirements of railway and industrial vehicles. The article is devoted to modeling point track sensors with increased noise immunity used in railway transport systems. The synthesis of adaptive modal laws of control of nonlinear systems for the analysis of point track sensors is performed. The main circuit and the block diagram of the adaptive system of a point track sensor with increased noise immunity are built. A model of point track sensors with increased noise immunity is implemented in the Simulink package. As a result of the simulation, signals were obtained at control points, which indicate sufficient noise immunity of a point track sensor. In addition, a model for the passage of a wheel of a rolling stock was developed, and the influence of the movement of the wheel, which is recorded by a point track sensor, on the coupling coefficient between the supply and receiving inductance coils, was modeled. From the data obtained it follows that the constructed model corresponds to a simulated point track sensor. When testing the model, real values were set as initial data, therefore, the simulation result is the initial data for constructing a real point track sensor. The data obtained make it possible to improve the existing point track sensors and optimize its parameters for the specific needs of railway and industrial vehicles. The developed model of wheel passage can be used in further studies.

Keywords: point track sensor, noise immunity, axle counting systems, adaptive system.

Надійшла 09.09.2019 р.

Прилипко Андрій Андрійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна, e-mail: prilipkooa@kart.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-6126-1085

Змій Сергій Олексійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна, e-mail: zmii.sergii@kart.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7974-5181

Бойник Оксана Анатоліївна магістр, директор загальноосвітньої школи № 175, Харків, Україна, e-mail: boinik@ukr.net ORCID ID: 0000-0001-7773-9055

Andriy Prilipko, PhD, Associate Professor, Department of automatic and computer remove control of train traffic, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: prilipkooa@kart.edu.ua ORCID ID: 0000-0001-6126-1085

Sergii Zmii, PhD, Associate Professor, Department of automatic and computer remove control of train traffic, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: zmii.sergii@kart.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7974-5181

Oksana Boynik, master, teacher, director of school No. 175, Kharkiv, Ukraine. E-mail: boinik@ukr.net ORCID ID: 0000-0001-7773-9055