

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНІКА, ЗВ'ЯЗОК

УДК 519.876.5:681.586

*Бабаєв М.М., д.т.н. (УкрДАЗТ)
Прилипка А.А., аспірант (УкрДАЗТ)*

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОЛІЙНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ІНДУКЦІЙНОГО ТИПУ

Вступ. Важливу роль у надійності та ефективності роботи систем залізничної автоматики та телемеханіки (ЗАТ) відіграють первинні пристрої контролю – первинні датчики, які застосовуються в багатьох системах управління рухом поїздів на залізничному транспорті [1, 2]. Одним з таких пристроїв є точковий колійний датчик підрахунку осей (ТКД).

Постановка проблеми. Серед ТКД найбільшого поширення набули датчики індукційного типу, в яких використовуються генераторні первинні перетворювачі, побудовані на принципі електромагнітної індукції [3-5, 15, 16]. У таких ТКД інформаційний сигнал формується при взаємодії колеса зі змінним магнітним полем, що зв'язує індуктивні передавач та приймач чутливого елемента датчика [2]. Серед датчиків індукційного типу виділяються трансформаторні диференціальні ТКД, які мають підвищену чутливість і захист від завад [5]. Тому у роботі і розглядається актуальна задача їх удосконалення та оптимізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останніх публікаціях стосовно ТКД [1-9] розглядаються конструкції та порівняння датчиків, викладені описи їх застосування. При цьому при описанні конкретних ТКД [2, 5, 7] зовсім не висвітлювалися їх недоліки. При порівнянні датчиків [3] хоча і були деякі згадки про їх недоліки, але це відносилось далеко не до всіх ТКД, що розглядалися, і питання стосовно їх усунення практично не піднімалося. В роботі [6] висвітлюється питання впливу експлуатаційних факторів на роботу ТКД, але недостатньо розкрито питання вдосконалення датчиків стосовно цих впливів. В статті [8] представлений огляд Германського рейкового датчика RSR 122, який добре захищений від

високих електромагнітних завад, але практично не розкриті його технічні дані, як саме реалізований цей захист, які недоліки має цей датчик. При розгляді застосування закордонного ТКД та його описанні [4] зовсім нічого не сказано про його недоліки, лише тільки позитивні моменти, але при цьому очевидно, що кожен ТКД має свої недоліки і тому зараз продовжується робота по удосконаленню існуючих датчиків [3]. При розгляданні застосування датчиків в системах ЗАТ [9] вказані перспективи у цій галузі, але зовсім не згадані технічні проблеми з ТКД при їх роботі.

Формування мети (постановка завдання). Завданням роботи є створити та реалізувати математичну модель чутливого елемента ТКД індукційного типу з метою удосконалення та оптимізації його параметрів, а також дослідження впливу зовнішніх факторів на датчик.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо узагальнену структуру ТКД індукційного типу [16].

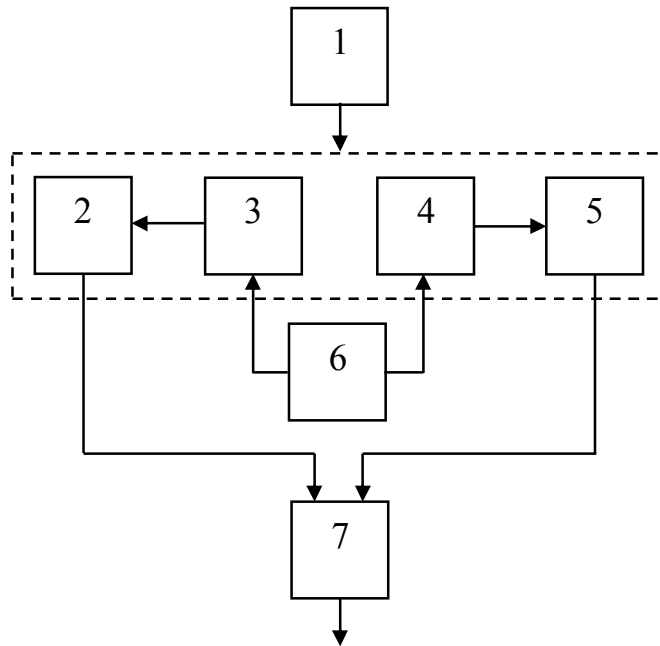


Рисунок 1 – Узагальнена структура ТКД індукційного типу
1 – зовнішній вплив на чутливий елемент ТКД (колесо); 2 – перша приймальна котушка індуктивності; 3 – перша живильна котушка індуктивності; 4 – друга живильна котушка індуктивності; 5 – друга приймальна котушка індуктивності; 6 – генератор; 7 – диференціальний підсилювач.

Принцип роботи датчика, що досліджується (рисунок 1), наступний.

Генератор 6 живить котушки індуктивності 3 та 4. У свою чергу останні створюють змінне магнітне поле. Це поле наводить ЕРС на приймальних котушках індуктивності 2 та 5. За відсутності колеса ЕРС на обох приймальних котушках однакові, оскільки останні ідентичні за будовою. За рахунок того, що приймальні котушки увімкнені зустрічно, їх вихідні напруги протилежні за фазою.

Сигнали від приймальних котушок надходять на диференціальний підсилювач 7, де відбувається їх порівняння. За відсутності колеса на виході блока 7 сигнал близький до нуля.

Коли колесо (блок 1) проходить над високочастотним модулятором (блоки 2-5), то змінюється взаємозв'язок відповідних приймальних котушок індуктивності з живильними, що сприяє різниці між амплітудами вихідних сигналів (напруг) з приймальних котушок. При цьому при знаходженні колеса між першими приймальною і живильною котушками індуктивності збільшується амплітуда вихідної напруги з першої приймальної котушки (\dot{U}_{k1}), а відповідно при знаходженні колеса між другими живильною і приймальною котушками індуктивності – збільшується амплітуда вихідної напруги з другої приймальної котушки (\dot{U}_{k2}). У результаті, при проходженні колеса над високочастотним модулятором на виході диференціального підсилювача виникає сигнал (сума вихідних напруг з приймальних котушок), що вказує про прохід колеса через контрольовану ТКД зону.

При цьому взаємозв'язок між живильною і приймальною котушками індуктивності, між якими знаходиться колесо, збільшується за рахунок впливу феромагнітної маси цього колеса на магнітний потік, що зв'язує дані котушки. Відбувається збільшення магнітного потоку за рахунок зменшення повітряного зазору між даними котушками індуктивності.

ЕРС на виході приймальних котушок з урахуванням відсутності колеса визначається таким чином [11, 12, 14]:

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2 = j\omega k_{зв} W_{ж} W_{пр} \sqrt{k_{жл} k_L} \cdot \dot{I}_z, \quad (1)$$

де $k_{зв}$ – коефіцієнт зв'язку приймальної та живильної котушок індуктивності за відсутності колеса;

$W_{ж}$ – кількість витків живильної котушки індуктивності;

$W_{пр}$ – кількість витків приймальної котушки індуктивності;

$K_{ЖЛ}$ – коефіцієнт зв'язку між індуктивністю живильної котушки $L_{Ж}$ і кількістю її витків $W_{Ж}$;

K_L – коефіцієнт зв'язку між індуктивністю приймальної котушки L і кількістю її витків $W_{пр}$;

I_2 – струм, що живить живильну котушку індуктивності.

На величину $k_{зв}$ впливають [13] рейка, корпус ТКД, завади від тягових струмів та ін. Ці чинники діють у рівній мірі на обидві приймальні котушки індуктивності за рахунок їх однакової будови і розташування щодо цих чинників. Тому цей коефіцієнт однаковий як для першої приймальної котушки, так і для другої.

Коефіцієнт зв'язку між індуктивністю котушки індуктивності і кількістю її витків залежить від конструкції котушки, її фізичних розмірів та інших показників. Так, наприклад, коефіцієнт для випадку з котушкою прямокутного перетину обчислюється за формулою [14]:

$$K = \frac{\mu_0}{\pi} (b+c) \left[\ln \frac{2bc}{a+r} - \frac{c}{b+c} \ln(c + \sqrt{b^2 + c^2}) - \frac{b}{b+c} \ln(b + \sqrt{b^2 + c^2}) + \frac{2\sqrt{b^2 + c^2}}{b+c} - \frac{1}{2} + 0,447 \cdot \frac{a+r}{b+c} \right], \quad (2)$$

де a – висота котушки індуктивності;

b – ширина;

c – довжина;

r – товщина витків.

Для універсальності моделі ВЧМ даний коефіцієнт виноситься як вхідний параметр у модель, тому що до різних за будовою котушок індуктивності для обчислення даного коефіцієнта наявні різні формули.

У разі відсутності колеса в контрольованій зоні, ЕРС на виході диференціального підсилювача високочастотного модулятора буде близькою до нуля згідно з формулою

$$\dot{E}_p = \dot{E}_1 + \dot{E}_2, \quad (3)$$

де \dot{E}_p – ЕРС на виході диференціального підсилювача.

Тут ЕРС \dot{E}_1 та \dot{E}_2 мають протилежні фази. Завдяки цьому при їх складанні одна ЕРС віднімається від іншої.

Якщо колесо знаходиться в контрольованій ТКД зоні, то воно впливає на коефіцієнти зв'язку $k_{зв}$ між приймальними та передавальними котушками індуктивності відповідно (підвищуючи один з них), а також на коефіцієнти зв'язку кількості витків та індуктивності ($\Delta k_{ЖЛ1}, \Delta k_{ЖЛ2}, \Delta k_{L1}$ та Δk_{L2}) всіх чотирьох котушок індуктивності (залежно від місцезнаходження колеса).

У разі, коли над контрольованою зоною ТКД знаходиться колесо, згідно з формулою (1) ЕРС на першій приймальній котушці визначається таким чином:

$$\dot{E}_{1к} = j\omega (k_{36} + \Delta k_{361}) W_{Ж} W_{пр} \sqrt{(k_{ЖЛ} + \Delta k_{ЖЛ1})(k_L + \Delta k_{L1})} \cdot \dot{I}_e, \quad (4)$$

де Δk_{361} – зміна коефіцієнта зв'язку між першими приймальною і живильною котушками індуктивності за наявності колеса;

$\Delta k_{ЖЛ1}$ – зміна коефіцієнта залежності між індуктивністю першої живильної котушки $L_{Ж}$ та кількістю її витків $W_{Ж}$ за наявності колеса;

Δk_{L1} – зміна коефіцієнта залежності між індуктивністю першої приймальної котушки $L_{пр}$ і кількістю її витків $W_{пр}$ за наявності колеса.

При цьому коефіцієнти зміни ($\Delta k_{361}, \Delta k_{L1}$ та $\Delta k_{ЖЛ1}$) відмінні від нуля лише у тому випадку, коли колесо знаходиться в зоні контролю перших приймальної і живильної котушок індуктивності. Аналогічно випадку з першою приймальною котушкою вихідна ЕРС на другій приймальній котушці індуктивності визначається таким чином:

$$\dot{E}_{2к} = j\omega (k_{36} + \Delta k_{362}) W_{Ж} W_{пр} \sqrt{(k_{ЖЛ} + \Delta k_{ЖЛ2})(k_L + \Delta k_{L2})} \cdot \dot{I}_e, \quad (5)$$

де Δk_{362} – зміна коефіцієнта зв'язку між другими приймальною і живильною котушками індуктивності під дією колеса, що фіксується;

Δk_{L2} – зміна коефіцієнта залежності між індуктивністю другої приймальної котушки $L_{пр}$ та кількістю її витків $W_{пр}$ під дією колеса, що фіксується;

$\Delta k_{ЖЛ2}$ – зміна коефіцієнта залежності між індуктивністю другої живильної котушки $L_{Ж}$ та кількістю її витків $W_{Ж}$ за наявності колеса.

При цьому коефіцієнти зміни ($\Delta k_{\text{зв}2}$, Δk_{L2} та $\Delta k_{\text{жЛ}2}$) відмінні від нуля лише у тому випадку, коли колесо знаходиться в зоні контролю других приймальної та живильної котушок індуктивності.

За допомогою відповідного математичного моделювання (формули 1-4) отримали модель ВЧМ у пакеті Simulink [10] (рисунок 2).

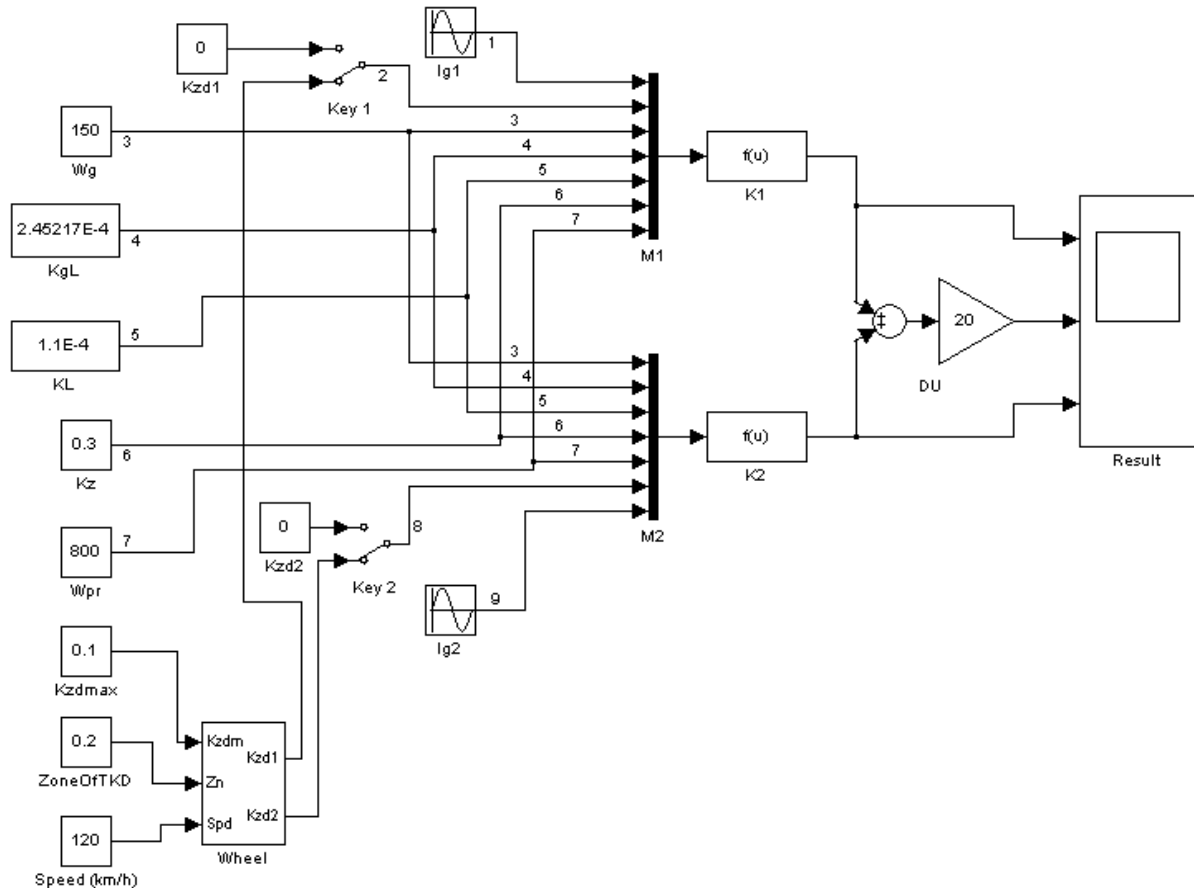


Рисунок 2 – Реалізована в пакеті Simulink модель ВЧМ ТКД

У цій моделі вхідними параметрами є:

- I_{g1} , I_{g2} – змінний струм у живильній котушці індуктивності (I_{g1} має фазу протилежну I_{g2});
- K_{zd1} та K_{zd2} – зміна коефіцієнта зв'язку між приймальними і живильними котушками індуктивності під дією колеса, що фіксується. Дані параметри мають значення константи рівне 0 для випадку відсутності колеса;
- W_g – кількість обмоток у живильній котушці;

- K_{gL} – коефіцієнт зв'язку між індуктивністю живильної котушки LЖ та кількістю її витків WЖ;
- K_L – коефіцієнт зв'язку між індуктивністю приймальної котушки L і кількістю її витків Wпр;
- K_z – коефіцієнт зв'язку приймальної і живильної котушки індуктивності за відсутності колеса;
- W_{pr} – кількість витків приймальної котушки індуктивності;
- $Wheel$ – зміна коефіцієнта зв'язку між приймальними (K_{sd1} та K_{sd2}) та живильними котушками індуктивності під дією колеса, що фіксується;
- K_{zd} – максимальна зміна коефіцієнта зв'язку між приймальними та живильними котушками індуктивності під час проходження колеса через зону чутливості датчика;
- $ZoneOfTKD$ – зона чутливості ТКД;
- $Speed$ – швидкість проходження колеса через зону дії ТКД;
- DU – диференціальний підсилювач.

За допомогою отриманої моделі ВЧМ ТКД можливо промоделювати ідеальну роботу об'єкта дослідження без впливу зовнішніх факторів.

При тестуванні моделі приймалися такі вхідні значення:

$f = 41000$ Гц; $I_2 = 0,08\sin(41000t)$ А; $I_2 = 0,08\sin(41000t+\pi)$ А; $W_{ж} = 150$ витків; $W_{пр} = 800$ витків; $k_L = 2,45217 \cdot 10^{-5}$; $k_{жЛ} = 1,1 \cdot 10^{-4}$; $k_{зв} = 0,3$; $\Delta k_{361} = (0..0,1)$; $\Delta k_{362} = (0..0,1)$; довжина зони дії датчика – 0,2 м; швидкість проходження колеса – 120 км/год.

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

Тут струм I_2 для обох котушок індуктивності прийнятий з однаковою частотою і амплітудою, але з протилежною фазою (що живить струм для другої приймальної котушки зрушений на π).

При тестуванні побудованої моделі без дії колеса одержимо такий результат (рисунок 3-4).

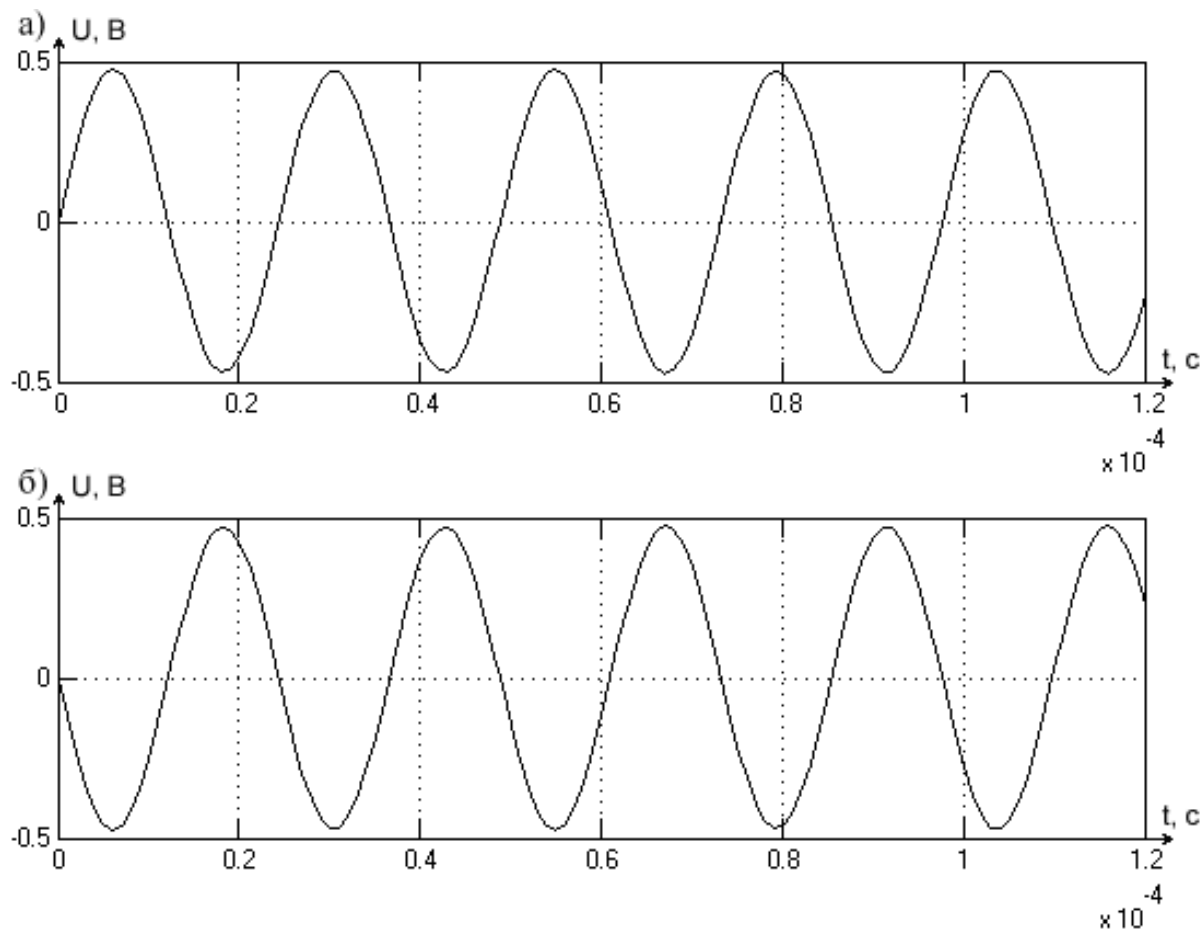


Рисунок 3 – Напряга на виході з першої приймальної котушки індуктивності (а) (блок К1) і другої приймальної котушки індуктивності (б) (блок К2)

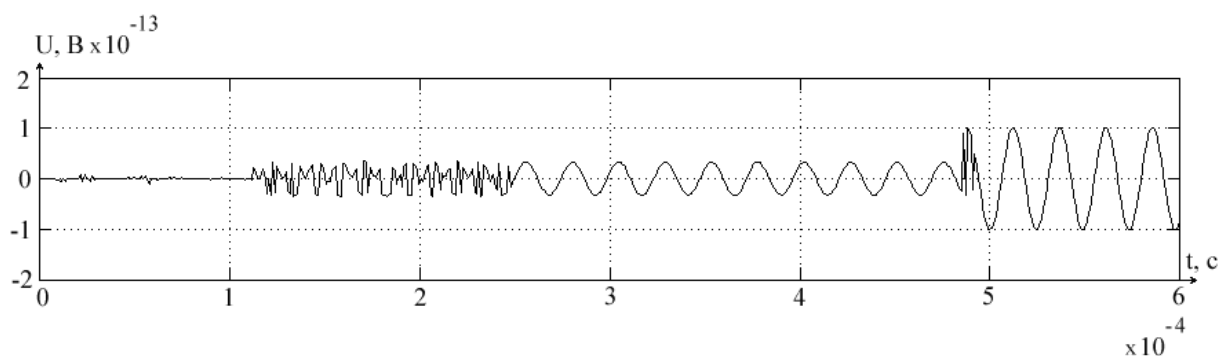


Рисунок 4 – Напряга на виході з диференціального підсилювача (блок DU)

При тестуванні побудованої моделі з дією колеса одержимо такі результати (рисунок 5-7).

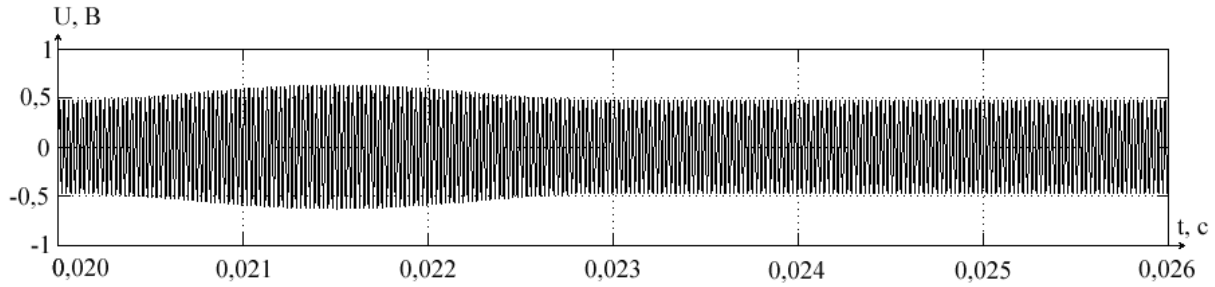


Рисунок 5 – Напряга на виході з першої приймальної котушки індуктивності (блок К1).

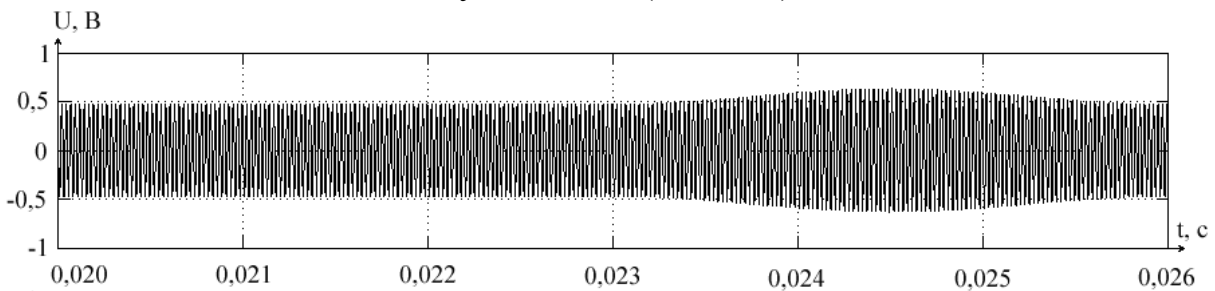


Рисунок 6 – Напряга на виході з другої приймальної котушки індуктивності (блок К2)

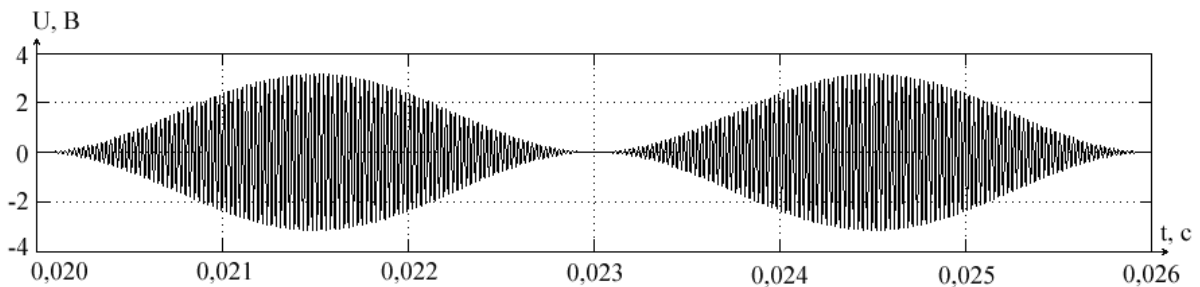


Рисунок 7. Напряга на виході з диференціального підсилювача (блок DU)

Згідно з одержаними графіками вихідний сигнал системи має такі значення:

- за відсутності колеса напруга на виході з диференціального підсилювача наближена до нуля (максимальна амплітуда 1·10⁻¹³ В);
- при впливі феромагнітної маси колеса значення напруги на виході диференціального підсилювача – максимум 3 В.

Навідна напруга на приймальній котушці при цьому має амплітуду 0,65 В.

З наведених графіків виходить, що побудована модель відповідає модельованому високочастотному модулятору ТКД.

Висновки. Одержана модель ВЧМ ТКД індукційного типу дає змогу моделювати і досліджувати роботу рейкового датчика. Зокрема отримана модель дозволяє:

– досліджувати поведінку ВЧМ ТКД при різних вхідних параметрах та впливу на нього зовнішніх факторів;

– оптимізувати параметри ВЧМ ТКД, а саме: кількість витків котушок індуктивності у ВЧМ, конструкцію, тип та розміри цих котушок, довжину ТКД та інше;

– отримати кількісну оцінку динаміки фізичних процесів, які відбуваються в ТКД.

Таким чином, за допомогою отриманої моделі можливе удосконалення датчика індукційного типу і оптимізація його параметрів.

Також можливо аналогічно моделювати роботу чутливих елементів інших типів ТКД, що дозволяє їх удосконалити.

Список літератури

1. Бухгольц В.П., Красовский Г.А., Штанке А.Э. Путьевые датчики контроля подвижного состава на рельсовом транспорте. – М.: Транспорт, 1976. – 96 с.
2. Счетчики осей в системах железнодорожной автоматики и телемеханики: учеб. пособие / А.Г. Кириленко, А.В. Груша. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2003. – 75 с.
3. Татиевский С.А. Технические характеристики датчиков счета осей // Автоматика, связь, информатика. – 2003. – №1. – С. 36–39.
4. Ульянов В.М., Дуднеченко А.М., Альтехаге К. Индуктивные датчики в системах железнодорожной автоматики // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – №2. – С. 13–16.
5. ЩигOLEV С.А., Шевцов В.А., Хохряков Г.В. и др. Путьевой датчик ДПЭП системы УКП СО // Автоматика, связь, информатика. – 2001. – №3. – С. 9-11.
6. Гаврилюк В.И., Гончаров К.В., Влияние состояния колес подвижного состава на выходной сигнал путьевого датчика // Залізничний транспорт України. – 2002. – №4. – С. 28-30.
7. Галкин О.В., Шабалин А.Н., Насонов Г.Ф. Многофункциональные датчики счета осей // Автоматика, связь, информатика. – 2004. – №11. – С. 6-8.
8. Lau P., Altehage K. Рельсовый датчик, устойчивый к воздействию вихретокового тормоза // Железные дороги мира. – 2002 – №12. – С. 60-63.
9. Кривда М. А. Технология счета осей. Применение в системах ЖАТ // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – №8. – С. 10-11.
10. Черных И. В. SIMULINK: Среда создания инженерных приложений / под общ. Ред. В. Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ. МИФИ, 2003. – 496 с.

11. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. – М.: Высш. школа, 1978. – 528 с.
12. Основы теории цепей: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. / Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В. и др. – М.: Энергия, 1975. – 752 с.
13. Самодуров В.И., Будников Ю.М. Исследование чувствительности высокочастотных датчиков контроля проследования колесных пар // Вопросы повышения надежности и эффективности систем железнодорожной автоматики и телемеханики / Межвузовский сборник научных трудов. – Свердловск: УЭМИИТ, 1985. – Вып. – 75. – С. 113-120.
14. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 488 с.
15. А.с. 1682229 СССР, МКИ В 61 L 1/16 Путьевой датчик / Ю.В. Соболев, В.М. Соколов, М.М. Бабаев, А.А. Прилипко, В.Н. Гріднев (СССР). – № 4607798/11; Заяв. 22.11.88; Опубл. 07.10.91, Бюл. № 37.
16. Пат. 2102267 РФ, МПК В 61 Н 7/12, В 60 Т 17/22, В 60 Т 17/22. Путьевой индуктивный датчик / М.М. Бабаев, О.Ф. Демченко, Л.А. Исаев, А.А. Прилипко, Ю.В. Соболев (Украина). – № 95113387/28; Заяв. 27.07.95; Опубл. 20.01.98, Бюл. № 2. – 5с.: 2 ил.

УДК 004.9:517.978.2

*Гришук Р.В., к.т.н. (Житомирський військовий інститут
ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету)*

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ НАПАДУ НА ІНФОРМАЦІЮ МЕТОДАМИ ТЕОРІЇ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ ІГОР

Аналіз проблемної ситуації та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Глобалізація інформаційних процесів і телекомунікаційних мереж породжує низку проблем системного характеру, зокрема інтелектуальної власності, транзакційних відомостей, комп'ютерних вірусів, різноманітного деструктивного впливу на об'єкти обчислювальної техніки тощо, серед яких проблема захисту інформації є ключовою [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Особливої актуальності проблема захисту інформації набуває сьогодні. Висока складність і одночасно вразливість усіх систем де обробляється, зберігається і передається інформація, є джерелом виникнення нових загроз з боку злочинних та терористичних структур,