

УДК 519.8:656.25

О. О. ГОЛОЛОВОВА – асистент кафедри «Автоматика та телекомунікації», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, gololobova_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

МОДЕЛЮВАННЯ ІНДУКТИВНОГО СПОЛУЧЕННЯ ЛОКОМОТИВНИХ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ НЕПЕРЕРВНОГО ТИПУ З РЕЙКОВИМ КОЛОМ

Вступ

В сучасній практиці експлуатації за умовами безпеки руху сигнал світлофора має передаватися на локомотив, який до нього рухається, та дублюватися в кабіні машиніста. Дану задачу на більшості магістральних шляхів виконує автоматична локомотивна сигналізація неперервного типу з числовим кодуванням (АЛСН). Проте такий канал зв'язку не є захищеним від дії зовнішніх завад [1, 2], найпотужнішими серед яких є складові тягового струму, електромагнітні поля ліній електропередач, асиметрія рейкових кіл, зони стиків та багато інших [3, 4, 5, 6]. Також великий вплив має швидкість руху поїзда, виникаючі вібрації при русі та вірогідність відмов напільних пристроїв. Дія цих чинників призводить до появи збоїв та відмов у роботі системи, що значно впливає на безпеку руху поїздів [7, 8].

Методи вивчення принципів дії АЛСН, які застосовуються в експлуатації, не є досконалими. За порядком взаємодії локомотивна бригада при виявленні порушення у роботі АЛС під час руху повідомляє про нього працівників служби руху, які фіксують випадок і передають інформацію для розгляду працівникам служби сигналізації та зв'язку. Працівники даної служби оглядають місце, де відбувся збій кодів, та перевіряють напругу у рейковому колі. За досвідом експлуатації, якщо вздовж колії, або між рейками знаходиться підготовлена до заміни рейка, то найбільш вірогідною причиною збою кодів є її залишкова намагніченість, яка

здебільшого з'являється у процесі вантажних робіт із застосуванням електричних магнітів. У більшості ж випадків причини залишаються не з'ясовані. Найбільш високу достовірність фіксування та аналізу різноманітних недоліків системи дає використання вагон-лабораторії та автоматизована обробка отриманої інформації, але даний спосіб потребує додаткових фінансових витрат на утримання вагон-лабораторії та обслуговуючого персоналу, а також необхідність безпосереднього виїзду на відповідну ділянку, що не завжди є зручним і доцільним способом.

Враховуючи велику значимість забезпечення безпеки руху, удосконалення роботи АЛСН з метою покращення сприйняття сигналів та зменшення впливу завад будь-якого походження залишається актуальною на даний час [9].

З метою запобігання появам збоїв кодів, необхідно створити умови, за яких система самостійно буде відрізняти сигнали з корисною інформацією, від сигналів з помилками. На першому етапі необхідно визначити еталонні сигнали, які використовуються системою для функціонування, і сигнали з найбільш поширеними збоями при передачі інформації. Найкращим способом вирішення цієї задачі є моделювання дії пристроїв, оскільки дозволяє провести необхідну кількість експериментів без виїзду на лінію обертання поїздів та дослідити дію усіх складових елементів системи окремо, як у режимі нормального функціонування, так і під дією завад.

Найбільш зручним способом при вирішенні даної задачі є математичне моделювання. Математична модель дозволяє детально вивчити систему в дії, оскільки дозволяє проводити аналіз внутрішніх процесів складових елементів і їх взаємодії між собою та з іншими об'єктами. До переваг моделювання відноситься і повторюваність, що дозволяє провести достатню кількість експериментів при встановлених необхідних умовах функціонування каналу зв'язку між приймальними пристроями та рейковою лінією. Зміни змодельованого сигналу можуть бути дослідженими в залежності від виду та інтенсивності впливу на об'єкт дослідження, або на його окремі складові елементи. Моделювання також забезпечує визначеність, що дозволяє за необхідністю враховувати або не враховувати їх випадкові процеси. Окрім цього, на прикладі моделі є можливим в подальшому розробка і застосування різних схемних рішень для зменшення впливу завад на функціональну здатність системи АЛСН та впровадження автоматизованого комплексу для розпізнавання виду несправності [10, 11].

Проведемо дослідження роботи АЛСН шляхом побудови математичної моделі каналу зв'язку її вхідних пристроїв з рейковою лінією.

Будова та принцип функціонування системи АЛСН

Усі пристрої, які входять до складу АЛСН можна поділити на колійні (ті, що передають кодний сигнал) та локомотивні (ті, що сприймають кодний сигнал). У кожного прохідного світлофора (ПС) в релейній шафі встановлюється колійна апаратура кодування, що складається зі схеми кодування (СК), кодового колійного трансмітера (ККТ), трансмітерного реле (квТ), що має свій блок-контакт в первинному колі кодового трансформатора (КТ), вторинна обмотка якого підключена до рейкового кола через дросель-

трансформатор ДТ1 [12]. Трансмітер перетворює сигнальні показання колійного світлофора у відповідну комбінацію числового імпульсного коду, який складається з певного числа імпульсів та пауз різної тривалості (табл. 1).

При короткому замиканні ізолюючих стиків відбувається потрапляння в рейкове коло даної блок-дільниці кодових сигналів із суміжної блок-дільниці, що загрожує безпеці руху поїздів. Шляхом чергування трансмітерів в кожній сигнальній установці перегону досягають необхідний здвиг за часом проходження кодових імпульсів в суміжних рейкових колах і захист від впливу кодових сигналів із суміжних блок-дільниць.

У склад локомотивних пристроїв АЛС (рис. 1) входять приймальні котушки (ПК), фільтр (Ф), локомотивний підсилювач (УЛ) з імпульсним реле (И), блок дешифратора (ДШ), електропневматичний клапан автостопа (ЭПК), локомотивний світлофор (ЛС), локомотивний швидкостемір (СКР), рукоятка (кнопка) пильності (РБ), кнопка (ВК) для запалювання на локомотивному світлофорі білого вогню замість червоного, а також тумблер (перемикач) ДЗ для зміни інтервалу часу періодичної перевірки пильності машиніста [12].

Для безперешкодного пропуску тягового струму в обхід ізолюючих стиків служать дроселі-трансформатори (ДТ), крім цього вони застосовуються і для передачі в рейкове коло кодових сигналів колійної апаратури АЛС, при цьому ДТ перешкоджають протіканню сигнального струму між суміжними блок-ділянками [13, 14].

Колійними пристроями АЛС кодний струм I_k по одній з рейкових ниток посилюється назустріч локомотиву, замикається через його першу колісну пару і по другій рейковій нитці повертається до джерела живлення (рис. 1). Протікання в рейках імпульсів змінного струму супроводжується утворенням навколо

рейок змінного магнітного поля Φ_k ($\Phi_{кл}$ – навколо лівої рейки, $\Phi_{кр}$ – навколо правої), яке перетинає приймальні котушки і наводить в них ЕРС ($e_{кл}$ – в лівій котушці, $e_{кр}$ – в правій), в якому переміщуються приймальні котушки локомотива, що підвішені перед першою колісною парою з кожного боку [12]. Напрямок кодових струмів I_k в кожній рейці зустрічне (в лівій рейці струм направлений «до нас» і умовно позначений крапкою, а в правій – «від нас» і позначений хрестиком), тому ЕРС ($e_{кл}$ і $e_{кр}$), які індуковані цими струмами мають

також зустрічний напрямок. Висота установки приймальних котушок над рівнем головки рейки складає 150 – 220 мм. Силві лінії магнітного поля, перетинаючи витки ПК, наводять у них змінну ЕРС, величина якої залежить від величини кодового струму в рейках і висоти встановлення котушок. Так, при висоті розташування ПК над рівнем головки рейки 150 мм і кодовому струмі в рейках 10 А частотою 50 Гц в котушці відповідно наводиться ЕРС, величина якої становить приблизно 0,65 – 0,75 В.

Таблиця 1

Часові характеристики числових кодів, що виробляються трансмітерами типів ККТ-5, ККТ-8 і ККТ-7, ККТ-9

Тип трансмітеру	Позначення коду	Тривалість імпульсів та інтервалів, с
ККТШ-5 ККТШ-8	З	
	Ж	
	ЧЖ	
ККТШ-7 ККТШ-9	З	
	Ж	
	ЧЖ	

Для додавання ЕРС обох котушок вони включаються послідовно. Дві з'єднані послідовно приймальні котушки на частоті 50 Гц повинні мати добротність 3,5-4,0 та індуктивність 14,0 Гн, ЕРС, що наводиться в розімкнутих і відключених від пульта котушках, при струмі в ланці 10 А повинна складати 1,3 В. Мінімальний кодовий струм, який може сприйматися приймальними котушками, для різних видів тяги і роду струму становить від 1,2 А до 2,0 А [13].

Необхідно враховувати те, що по рейкових нитках одночасно з сигнальним I_c протікає і тяговий струм I_t , який, проходячи через основну обмотку ДТ, розгалужується і протікає по кожній рейковій нитці в одному напрямку. При

цьому тяговий струм створює навколо кожної рейки магнітне поле, що охоплює прийомні котушки локомотива і наводить в них ЕРС ($e_{тл}$ – в лівій котушці, $e_{тп}$ – в правій). Напрямки цих ЕРС однакові, так як однакові напрямки тягових струмів, що їх створили. По відношенню до тягового струму котушки з'єднані зустрічно, тому $e_{тл}$ і $e_{тп}$ взаємно знищуються і не надають заважаючий вплив на прийом сигнального струму I_k . У разі, якщо є так звана поздовжня асиметрія тягового струму (характеристики лівої рейкової нитки не збігаються з характеристиками правої), значення $e_{тл}$ і $e_{тп}$ наводяться в прийомних котушках різні і повна компенсація цих ЕРС не відбувається, при цьому з'являється заважаючий вплив тягового струму на

пристрої АЛС, який може стати причиною збоїв в роботі цієї системи і загрозою безпеці руху поїздів.

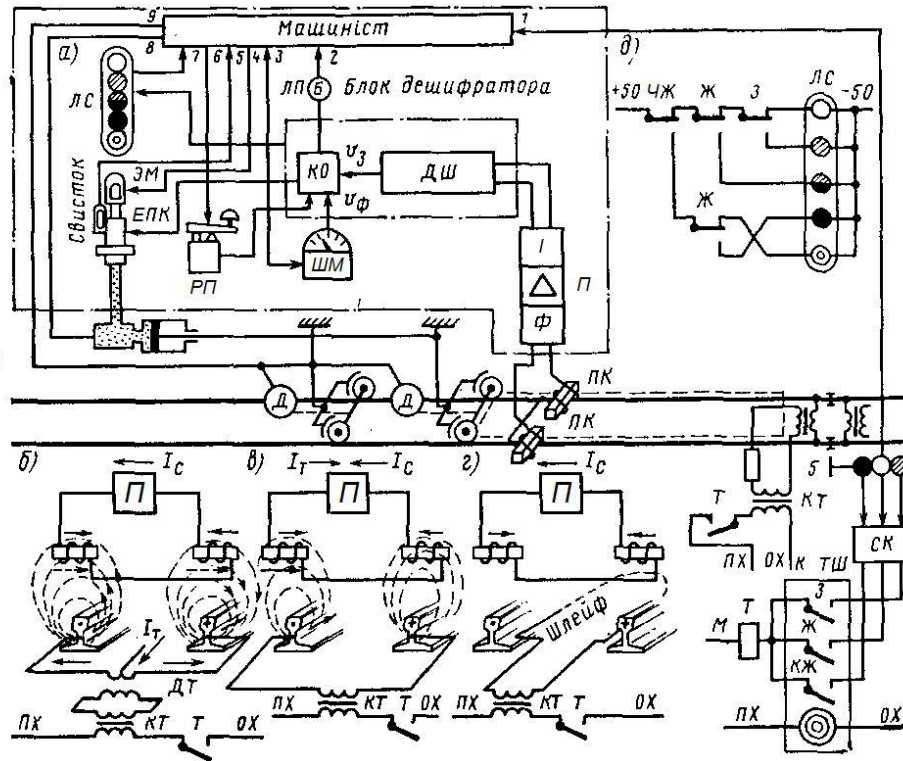


Рис. 1. Структурна схема пристроїв АЛСН числового коду

Наведені в ПК ЕРС діють злагоджено і створюють кодовий струм I_k , що проходить через фільтр (Ф) на локомотивний підсилювач (ПЛ). Імпульсне реле (І) на виході підсилювача є повторювачем коду, посылаючи його в дешифратор (ДШ) як зашифроване показання сигналу. Дешифратор містить ряд реле, які об'єднані в кілька блоків. Блок лічильника (БЛ) – включає в себе реле-лічильники, які забезпечують підрахунок числа імпульсів і інтервалів між ними. Блок сигнальних реле (БСР) – включає в себе сигнальні реле «З», «Ж», «ЧЖ», які створюють відповідні кола живлення сигнальних ламп локомотивного світлофора. Блок контролю відповідності (БКВ) – забезпечує контроль за відповідністю прийнятого коду і стану сигнальних реле БСР шляхом їх порівняння. Блок відповідності періодично через 5 – 6 с підключає сигнальні реле до реле – лічильників, для того, щоб на локомотивному світлофорі загорівся

потрібний вогонь. Таким чином, зміна вогнів локомотивного світлофора відбувається з запізненням на 5 – 6 с. Цей час відповідає прийому трьох серій кодових імпульсів. Блок контролю швидкості – містить реле контролю швидкості (РКШ), що взаємодіє з локомотивним швидкостеміром. Блок пильності (БП) – здійснює контроль пильності машиніста. При зміні вогню локомотивного світлофора, наприклад із зеленого на жовтий, розривається електричне коло живлення котушки електропневматичного клапана (ЕПК) і з'являється звуковий сигнал, який звучить протягом 7 – 8 с. До закінчення цього часу машиніст повинен натиснути рукоятку (кнопку) пильності (РП) і тим самим відновити коло живлення котушки ЕПК і припинити звучання свистка [3].

Якщо цього не відбувається, то по закінченню 7 – 8 с зривається ЕПК і випускає повітря з гальмівної магістралі

(ГМ), що призводить до перерозподілення тиску повітря у розподільнику повітря (РР) і сполучення запасних резервуарів (ЗР) із гальмівними циліндрами (ГЦ). В такій ситуації потяг переходить в режим екстреного гальмування.

Математична модель

Для розуміння процесів, що проходять в системі АЛСН, та побудови математичної моделі каналу зв'язку між вхідними пристроями системи у вигляді еквівалентної схеми заміщення вхідного фільтру та рейкового кола, по якому протікає сигнальний струм за допомогою інструментів програмного середовища MATLAB та розширення Simulink побудуємо математичну модель [15, 16]. Для цього скористаємося найбільш наглядним та простим для сприйняття варіантом представлення схеми фільтру частотою 50 Гц (рис. 2) [13].

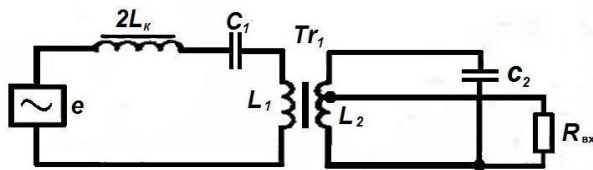


Рис. 2. Схема фільтру частотою 50 Гц

Перший контур включає індуктивність двох приймальних котушок, а також індуктивність зв'язку L_1 , утворену вхідним ланцюгом трансформатора Tr_1 і конденсатором C_1 . Добротність цього контуру дорівнює 3-4. Також до цього контуру входить джерело e , яке генерує сигнали АЛСН. Другий контур складено іншою обмоткою трансформатора з індуктивністю L_2 та конденсатором C_2 (ці елементи фільтру розміщені в блоці підсилювача). Добротність цього контуру дорівнює 10. Від частини обмотки трансформатора Tr_1 прийнятий сигнал подається в перший каскад підсилювача з навантаженням. Завдяки індуктивному

зв'язку і налаштуванню контурів в резонанс вони створюють фільтр, який пропускає з невеликим затуханням лише певну смугу частот, тобто є сукупністю, що мають фільтруючі властивості. Такий фільтр електрично еквівалентний двом послідовно з'єднаним контурам: послідовному з елементів першого контуру (приймальних котушок і конденсатора C_1) і паралельного контуру з індуктивним опором зв'язку і конденсатором C_2 . Подібна система з контурів має дві частоти послідовного і одну паралельного резонансу.

Фільтр має смугу пропускання приблизно 14 Гц і пригнічує перешкоди з частотою нижче 10 Гц, індуковані в результаті коливань приймальних котушок у магнітному полі тягового струму при русі локомотива, а також в результаті впливу гармонік з частотою 100 Гц і вище, що з'являються під впливом контактної мережі.

Побудована математична модель складається з наступних блоків (рис. 3):

Signal Builder – блок, який генерує наступні коди: G – код «З»; E – генератор коду «Ж»; RE – генератор коду «ЧЖ». Параметри кожного з цих генераторів створюють комбінації інтервалів та імпульсів певної тривалості, що точно відображають комбінації відповідних кодових сигналів (рис. 4);

Scope – осцилограф;

AC Voltage Source – джерело змінної напруги;

Ideal Switch – перемикач;

Current Measurement – вимірювач струму;

$2L_k$ – індуктивність двох приймальних ко-тушок;

C_1, C_2 – конденсатори;

Linear Transformer – трансформатор;

$R_{вх}$ – навантаження підсилювача.

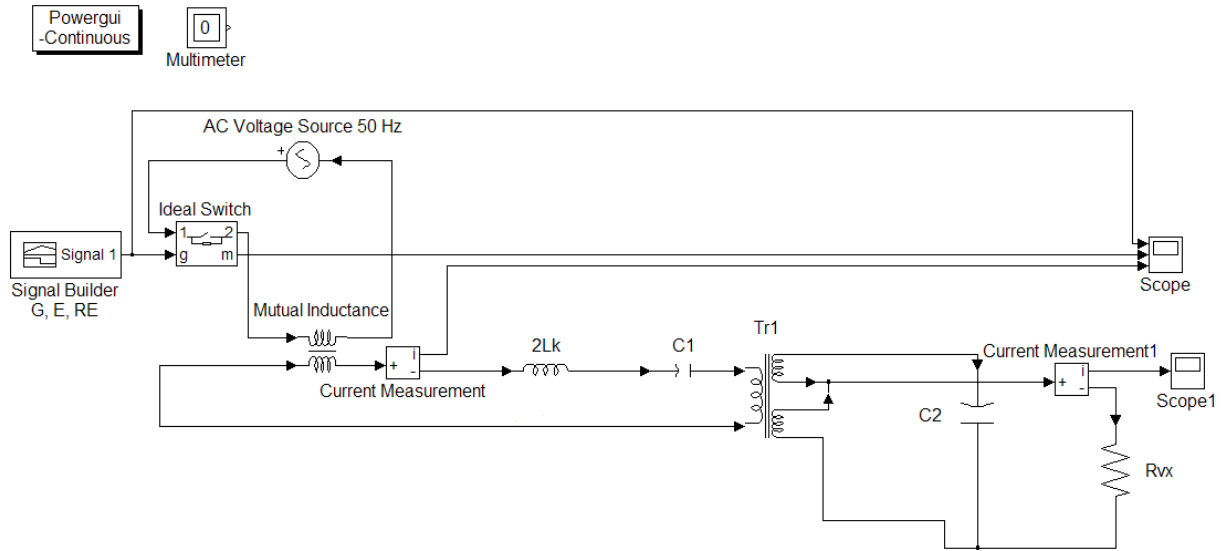


Рис. 3. Математична модель сполучення вхідних пристроїв АЛСН та рейкового кола

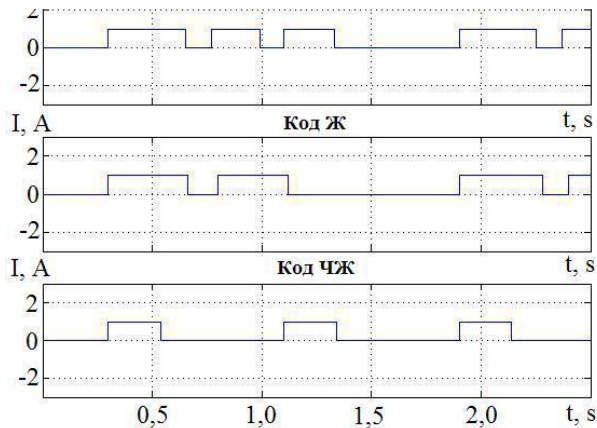


Рис. 4. Кодові сигнали Ж, ЧЖ

В електричному відношенні по діючим технічним умовам приймальна котушка характеризується наступними параметрами: активний опір змінному струму з частотою 50 Гц більше 650 Ом, індуктивність $7,1 \pm 0,35$ Гн, добротність 3,5. При підвісці на висоті 150 мм, струмі в рейках 10 А частотою 50 Гц в котушці наводиться ЕРС відповідно не менше 0,75 В.

Дві з'єднані послідовно приймальні котушки на частоті 50 Гц повинні мати добротність 3,5-4,0 і індуктивність 14,0 Гн, ЕРС, що наводиться в розімкнутих і відключених від пульта котушках, при струмі в ланці 10 А повинна складати 1,3 В.

конденсатори входять в конструкцію самого підсилювача (тип УК25/50М). Первинна обмотка I (820 витків) входить разом з конденсатором C_1 (типу МБГП, $0,75 \text{ мкФ} \pm 5\%$, 200 В) в контур приймальних котушок. Вторинна обмотка II (1700 витків з відводами від 60, 75, 90 і 105-го витків) має додаткову секціоновану обмотку III (161 виток з відводами від 92-го і 115-го витків), при допомозі якої другий контур з конденсатором C_2 (ємністю $4 \text{ мкФ} \pm 5\%$, 200 В) налаштовується в резонанс на частоту 50 Гц. Магнітопровід трансформатора має фіксований повітряний зазор 0,9 мм для стабілізації індуктивності його обмоток.

На відміну від вказаних параметрів системи АЛС взаємної індуктивності між рейками та приймальними котушками необхідно розраховувати. Для того, щоб визначити значення взаємної індуктивності каналу передачі сигналу на локомотив спочатку виконаємо виміри напруги та струму в приймальних котушках за допомогою амперметра. Отримані значення для котушки складають $I_r = 0,00818$ А та $U_r = 19,25$ В. Далі будемо використовувати канал передачі сигналу який містить рейкову лінію, приймальні котушки АЛСН, та кодову апаратуру АЛСН. Для цього

потрібно визначити активний питомий опір рейкової нитки змінному струму за формулою (1)

$$R_a = \frac{2,8 \cdot \sqrt{\mu \cdot \rho \cdot \varphi}}{u}, \quad (1)$$

де $\mu = 100$ відносна магнітна проникність рейкового кола;

$\rho = 0,21 \cdot 10^{-6}$ Ом·м – опір металу рейкового кола;

$\varphi = 50$ Гц – частота току рейкового кола;

u – периметр поперечного розрізу рейки (приймається рівним 0,7 м.).

Тоді, підставивши значення параметрів до формули (1) отримаємо необхідне значення:

$$R_a = \frac{2,8 \cdot \sqrt{100 \cdot 0,21 \cdot 10^{-6} \cdot 50}}{0,7} = 0,1296 \text{ Ом}$$

Наступним кроком нам потрібно визначити внутрішню питому індуктивність рейкового кола за формулою:

$$L_i \approx 0,0955 \cdot \frac{R_a}{\varphi} = 0,0955 \cdot \frac{0,1296}{50} = 2,475 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$$

Підставимо отримані значення до формули визначення взаємної індуктивності та обчислимо її значення:

$$M = \frac{1}{2i\omega} \cdot \left[\frac{U}{I} - R_a - R_k \right] + \frac{1}{2} \cdot L_i + \frac{1}{2} \cdot L_k$$

де $L_k = 7,1$ Гн – індуктивність котушки АЛСН,

$R_k = 110$ Ом – опір котушки АЛСН

$$M = \frac{1}{2i\omega} \cdot \left[\frac{19,25}{0,00818} - 0,1296 - 110 \right] + \frac{1}{2} \cdot 2,475 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2} \cdot 7,1 = 5,062 \text{ Гн}$$

Результати експерименту

Часові залежності зміни струму на виході фільтру при подачі на вхід системи

кодів 3, Ж, КЖ, отримані за допомогою Matlab (рис. 5, рис. 6, рис. 7) [17, 18].

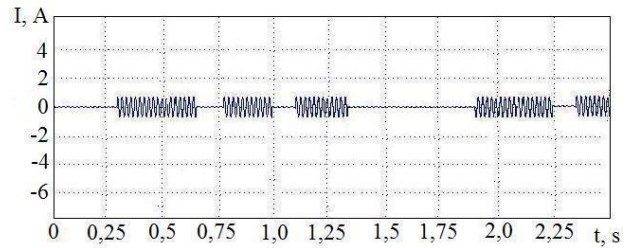


Рис. 5. Кодовий сигнал 3 на виході фільтру

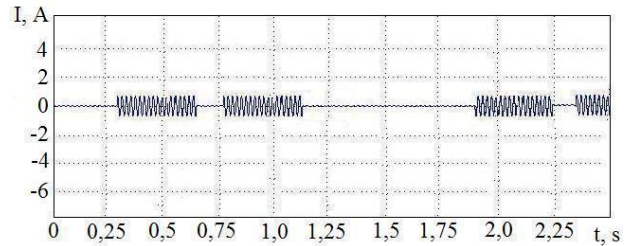


Рис. 6. Кодовий сигнал Ж на виході фільтру

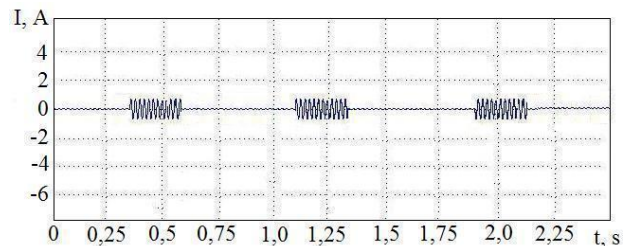


Рис. 7. Кодовий сигнал ЧЖ на виході фільтру

Для порівняння наведемо приклад зображення ідеальних кодових сигналів, вимірних вагоном-лабораторією (рис. 8, рис. 9, рис. 10).

За результатами проведених вимірювань було також встановлено, що найбільше абсолютне значення відхилення вимірних значень напруги на прийомних котушках вагон лабораторією і отриманих за допомогою моделі виявлено для варіанту підвіски прийомних котушок над рівнем голівки рейки 180 мм і становить усього 0,02 В. Таким чином відносна похибка складає 2,9%. Отримані результати зведено до табл. 2.

**Рівень напруги на приймальних котушках
 залежно від висоти їх підвішування над рівнем головки рейки**

Висота встановлення приймальних котушок над рівнем головки рейки (мм)		Вимірювані значення напруги в колі вхідних пристроїв (В)*	
		Вагон-лабораторія	Модель
150	З	0,71	0,7
	Ж	0,71	0,7
	ЧЖ	0,71	0,7
180	З	0,67	0,69
	Ж	0,67	0,69
	ЧЖ	0,67	0,69
220	З	0,59	0,58
	Ж	0,59	0,58
	ЧЖ	0,58	0,58

* Значення задається для кодового струму в рейках величиною 10 А та частотою 50 Гц.

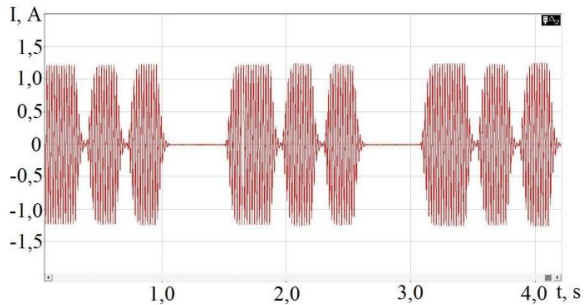


Рис. 8. Кодовий сигнал З

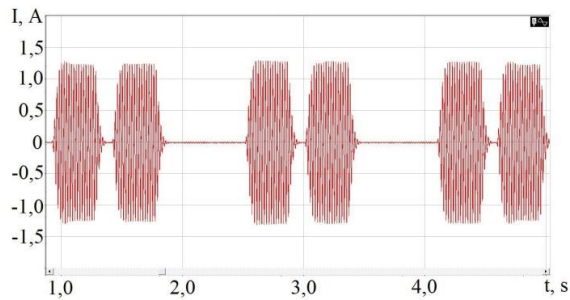


Рис. 9. Кодовий сигнал Ж

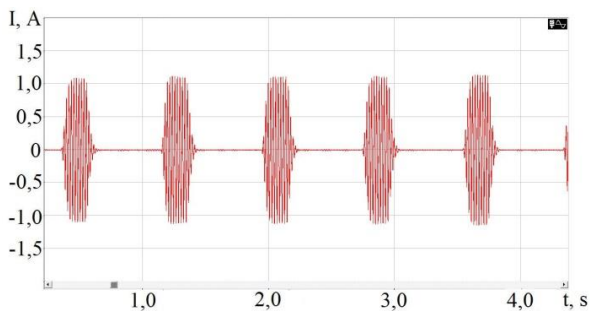


Рис. 10. Кодовий сигнал ЧЖ на виході фільтру

З результатів моделювання видно, що розроблена модель відтворює ідеальний сигнал в реально діючих пристроях.

За результатами роботи математичної моделі каналу зв'язку між вхідними пристроями системи автоматичної локомотивної сигналізації неперервного типу з числовим кодуванням у вигляді еквівалентної схеми заміщення фільтру частотою 50 Гц та рейкового кола, по якому протікає сигнальний струм можна встановити, що сигнал на виході моделі задовільно співпадає з реальними вимірами, що свідчить про адекватність роботи побудованої системи.

Висновки

На основі аналізу структури та функціонування пристроїв системи АЛСН розроблена математична модель каналу зв'язку її вхідних пристроїв з рейковою лінією АЛСН з урахуванням взаємної індуктивності між рейками та приймальними котушками локомотива. Приведені результати моделювання на виході фільтру при подачі на вході всіх видів кодових комбінацій. Оскільки сигнали, отримані від моделі, та виміряні з вагон-лабораторії, задовільно співпадають,

то розроблена модель вхідних пристроїв приймача АЛСН відповідає її реальному аналогу. Завдяки цьому стає можливим експериментальне вивчення роботи АЛСН в умовах виникнення завад та спотворення кодового сигналу, а також дослідження та визначення поведінки схеми під час нормального режиму експлуатації та при дії завад без виїзду в зону дії перешкод у віртуальному середовищі математичного пакету MATLAB та його розширенні Simulink. Таким чином, з'явилася можливість моделювання появи ймовірних складних ситуацій, що призводять до збоїв кодів [19, 20, 21], та розробки способів виявлення, попередження та захисту дії пристроїв від них. А також є можливість в середовищі MATLAB та Simulink розробляти і застосовувати різні схемні рішення для зменшення впливу завад на функціональну здатність АЛСН.

Бібліографічний список

1. V. Gavriluk, T. Serdyuk, Telemetric system for the control of signal parameters of rail circuits. Transport systems telematics. II International Conference. Katowice-Ustron (Poland), 185-190 (2002)
2. V. Gavriluk, A. Zavgorodnyj, Computer simulation of electromagnetic interference from railway electric power system harmonics. Archives of transport system telematics, Vol. 2, № 1, 33-37 (2009)
3. Вл. В. Сапожников, И. М. Кокурин, В. А. Кононов, А. А. Лыков, А. Б. Никитин Эксплуатационные основы автоматизации и телемеханики: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. М., Маршрут, 247 (2006)
4. Т. Е. Киякина, Причины сбоев в работе автоматической локомотивной сигнализации, методы решения проблем Технические науки в России и за рубежом: материалы II междунар. науч. конф., 47-49 (2012)
5. В. Л. Григорьев, А. В. Котельников, Оптимизация электропроводности рельсового стыка при пропуске тяжеловесных поездов. АСИ 8, 13-16 (2005)
6. В. И. Шаманов, Ю. А. Трофимов, Ассиметрия тяговых токов под катушками. АСИ 11, 37-39 (2008)
7. С. В. Лукоянов, Сбоев кодов АЛСН на скоростном участке стало меньше. АСИ 9, 22-25 (2011)
8. И. Н. Шевердин, В. И. Шаманов, Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛС, АСИ 8, 24-29 (2004)
9. Н. Н. Балугев, Развитие средств ЖАТ. Стратегия и тактика. АСИ 8, 2 (2012)
10. С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова, М. А. Коврыгин, Дистанционное диагностирование состояния стрелочных переводов по временной характеристике и спектральному составу токовой кривой. Наука та прогрес транспорту. Вестник ДНУЖТ. Д., ДНУЖТ, 56, 7-24 (2015).
11. А. М. Сафарбаков, А. В. Лукьянов, С. В. Пахомов, Основы технической диагностики деталей и оборудования: учебное пособие. Иркутск, ИрГУПС, 128 (2007)
12. С. В. Швецов, А. С. Талызин, Н. В. Есин Методические указания к выполнению лабораторных работ при изучении дисциплины «Безопасность вождения поездов» Омск, 48 (2010)
13. Н. Ф. Котляренко, А. В. Шишляков, Ю. В. Соколов, И. З. Скрипин, Н. А. Шишлякин, Путевая блокировка и авторегулировка: учебник для вузов. М., Транспорт, 408 (1983)
14. G. Theeg, S Vlasenko, Railway Signalling and Interlocking. International Compendium. Hamburg, Eurail-press Publ., 448 (2009)
15. O. Beucher, Introduction to MATLAB & Simulink: a project approach. Hingham, Massachusetts New Delhi, Infinity Science Press LLC, 390 (2008)

16. И. В. Черных, Моделирование электро-технических устройств в MATLAB SimPowerSystems и Simulink, М., ДМК Пресс, 288 (2008)
17. L. F. Chaparro, Signals and Systems Using MATLAB Dep. of Electrical and Computer Eng. Univ. of Pittsburgh. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sidney, Tokyo: Academic Press, 752 (2011)
18. R. J. Tervo Practical Signals Theory with MATLAB Applications, Hoboken, New Jersey, Wiley, 486 (2014)
19. Е. В. Горенбейн, Сбои кодов АЛСН и их учет. АСИ 7, 8-22 (2012)
20. В. Б. Леушин, Анализ причин сбоев в системе АЛСН. АСИ 4, 20-25(2013)
21. С. В. Лукоянов, Сбоев кодов АЛСН на скоростном участке стало меньше. АСИ 11, 34-36 (2011)

Ключові слова: комп'ютерна модель, матлаб, система автоматичної локомотивної сигналізації, кодування рейкових кіл, пристрої автоматичної локомотивної сигналізації, функціонування автоматичної локомотивної сигналізації.

Ключевые слова: компьютерная модель, матлаб, система автоматической локомотивной сигнализации, кодирование рельсовых цепей, устройства автоматической локомотивной сигнализации, функционирование автоматической локомотивной сигнализации.

Keywords: computer model, Matlab, automatic locomotive alarm system, rail coding, automatic locomotive alarm devices, automatic locomotive alarm function.

Рецензенти:

д.т.н., проф. А. Н. Муха,
д.т.н., проф. А. Б. Бойник.

Надійшла до редколегії 08.05.2019.
Прийнята до друку 25.05.2019.