

УДК 656.259.2

К. В. ГОНЧАРОВ – к.т.н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, goncharov_k@inbox.ru
Ю. В. БУРКОВСЬКИЙ – електромеханік СЦБ, Криворізька дистанція сигналізації та зв'язку

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧКОВОГО КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ «КОЛІЯ – ЛОКОМОТИВ»

Постановка проблеми

На сьогоднішній день в Україні головним локомотивним засобом забезпечення безпеки руху поїзда є автоматична локомотивна сигналізація безперервної дії з числовим кодуванням АЛСН. Така система виконує декілька функцій: передачу на локомотив інформації про показання колійних світлофорів, контроль пильності машиніста, контроль швидкості руху поїзда, примусове екстрене гальмування у разі порушення умов безпеки [3, 5].

В системі АЛСН використовуються три кодових сигнали, які передаються по рейковій лінії, за рахунок індуктивного зв'язку наводяться в локомотивних котушках, розшифровуються та відображаються на локомотивному світлофорі. Код КЖ посиляється, якщо наступна блок-ділянка зайнята, код Ж – попереду вільна одна блок-ділянка, код З – принаймні наступні дві блок-ділянки вільні. Таким чином відстань між двома поїздами, що рухаються один за одним, забезпечується не меншою ніж сумарна довжина двох блок-ділянок та довжина поїзда [3, 5].

У зв'язку із впровадженням на залізницях України швидкісного руху, а в перспективі і високошвидкісного руху, виникає необхідність в удосконаленні локомотивних систем забезпечення безпеки руху поїзда [4]. Це пов'язане з декількома факторами. По перше при збільшенні швидкостей руху збільшується гальмівний шлях і двох блок-ділянок може не вистачити для гальмування поїзда. По друге погіршується сприйняття машиністом сигналів колійних

світлофорів, зменшується час реакцію машиніста на зміну поїзної ситуації, збільшується ризик виникнення небезпечної ситуації внаслідок помилкових дій машиніста. По третє при керуванні поїздом машиніст повинен враховувати не лише показання світлофорів, але і обмеження швидкості обумовленні станом, профілем та радіусом кривизни колії.

На швидкісних та високошвидкісних магістралях система АЛСН не дозволяє машиністу отримати достатню інформацію про поточну поїзну ситуацію. Для забезпечення безпеки руху поїзда окрім показань колійних світлофорів необхідно передавати на локомотив інформацію про кількість вільних попереду блок-ділянок, постійні та тимчасові обмеження швидкості, профіль колії, поточну координату, маршрут руху по станції та інше. Крім низької інформативності система АЛСН має ще ряд недоліків: низьку завадостійкість, високу інерційність, низьку надійність, застосування застарілої елементної бази, обмежені функціональні можливості.

Один із шляхів удосконалення засобів забезпечення безпеки руху поїзда пов'язаний із застосуванням додаткового точкового каналу зв'язку для передачі інформації з колії на локомотив. Такий канал утворюється між колійними прийомо-відповідачами (балізами) та локомотивним опромінювачем-приймачем. Балізи поділяються на керовані (активні) та некеровані (пасивні). Керовані балізи пов'язані з колійними пристроями залізничної автоматики та призначені для передачі на локомотив

інформації про поточну поїзну ситуацію. Некеровані балізи працюють автономно та забезпечують передачу на локомотив фіксованих повідомлень (інформацію про поточну координату, профіль колії та постійне обмеження швидкості). З урахуванням отриманої від баліз інформації локомотивні пристрої автоматики розраховують безпечну криву швидкості поїзда.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Колійні індуктори (балізи) достатньо широко застосовуються в закордонних системах автоматичної локомотивної сигналізації точкової дії. Наприклад, в Німеччині вони використовуються в системах INDUSI / PZB та ZUB, у Франції – в системі KVB, в Іспанії – ASFA, в Скандинавських країнах – EBICAB [2, 11]. Крім цього, балізи єдиного європейського стандарту (євробалізи) входять до складу Європейської системи керування перевезеннями ERTMS / ETCS [1, 2, 9, 11].

Євробалізи працюють без власного джерела живлення. При проїзді локомотива над євробалізою локомотивна антена випромінює високочастотне електромагнітне поле частотою 27,095 МГц, завдяки чому у колійній антені наводиться змінна високочастотна напруга, яка після випрямлення та стабілізації використовуються для живлення електронних пристроїв євробалізи. Після цього формується зворотній частотно-модульований електромагнітний сигнал з несучою частотою 4,234 МГц, за допомогою якого відбувається передача інформації від євробалізи на локомотив. Обмін даними між локомотивом та євробалізою можливий на швидкостях до 500 км/год. Розмір повідомлення, яке передається між євробалізою та локомотивом, складає 341 або 1023 біта. Повідомлення кодуються в цифровому каналі, що дозволяє захистити інформацію від пошкодження при передачі [8]. Євробалізи використовуються не лише в Європі, але і в інших країнах світу. Зокрема, в Ки-

таї, Південній Кореї, Індії, Мексиці, Новій Зеландії [11].

В Казахстані та Росії також застосовуються точкові колійні прийомо-відповідачі, які працюють аналогічно євробалізам, але мають свої особливості [10]. Зокрема, в системі АЛСР розробки НПЦ «Промелектроніка» (м. Єкатеринбург) передача енергії від локомотивного випромінювача до колійного прийомо-відповідача та передача інформації у зворотну сторону відбувається на одній несучій частоті 13,056 МГц [10].

Таким чином, точкові колійні прийомо-відповідачі все більше впроваджуються на залізницях різних країн світу. В Україні досвід використання таких пристроїв поки що відсутній. У зв'язку із цим, актуальною є розробка математичної моделі та проведення досліджень точкового каналу зв'язку з локомотивом (ТКЗ-Л).

Мета роботи

Метою даної роботи є розробка математичної моделі точкового каналу зв'язку з локомотивом, яка дозволить раціонально обрати параметри локомотивної та колійної антен, визначити зону чутливості колійного прийомо-відповідача.

Структура та принцип дії точкового каналу зв'язку з локомотивом

Функціональна схема пристроїв точкового каналу зв'язку з локомотивом зображена на рис. 1. Така схема відповідає ТКЗ-Л, що використовується в системі АЛСР [10]. Канал зв'язку утворюється між локомотивним опромінювачем-приймачем (ОП) та колійним прийомо-відповідачем (ППО). До складу ОП входить високочастотний генератор G , струмовий резистор R_T , локомотивна антена $ЛА$ та приймач-декодер $Пр-Дк$. Колійний прийомо-відповідач містить колійну антену $ПА$, конденсатор C_p , шунтовий резистор $R_{ш}$, електронний ключ $S_{ш}$, випрямляч B та мікроконтролер $МкП$.

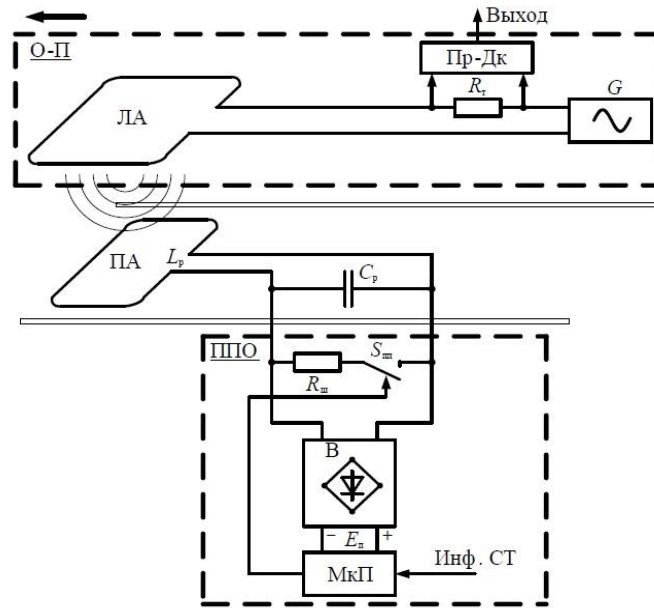


Рис. 1. Функціональна схема точкового каналу зв'язку з локомотивом

Високочастотний сигнал змінної напруги від генератора G через струмовий резистор R_t передається в локомотивну антену $ЛА$, і далі надходить на колійну антену $ПА$ за рахунок взаємоіндуктивності між $ЛА$ та $ПА$. Падіння напруги на резисторі R_t залежить від величини струму, що протікає через $ЛА$. Зміни падіння напруги надходять на вхід приймача-декодера $Пр-Дк$.

Колійна антена спільно з $ППО$ розташовується всередині колії на дерев'яній або залізобетонній шпальній решітці. Ця антена, що має індуктивність L_p , спільно з ємністю C_p утворює коливальний контур, резонансна частота якого відповідає частоті змінної напруги генератора G . Напруга з резонансного контуру через випрямляч B , що містить також стабілізатор напруги, надходить на входи живлення E_n колійного мікроконтролера $МкП$. В пасивних прийомо-відповідачах інформація для передачі на локомотив зберігається постійно в модулі пам'яті $ППО$, а до активних прийомо-відповідачів інформація надходить від колійних пристроїв СЦБ.

При проїзді локомотива над колійним прийомо-відповідачем через $ЛА$ випромінюється високочастотне електромагнітне поле, яке наводить у $ПА$ високочастотну

напругу. За допомогою блоку B ця напруга випрямляється та стабілізується. Таким чином формується напруга живлення $МкП$. Після цього колійний мікроконтролер замикає та розмикає електронний ключ $S_{ш}$ у відповідності до повідомлення, що передається на локомотив. При замиканні $S_{ш}$ резистор $R_{ш}$ шунтує резонансний контур $L_p C_p$, що призводить до збільшення струму у колійній антені, а за рахунок індуктивного зв'язку між $ПА$ та $ЛА$ відбувається відповідне збільшення струму і в локомотивній антені. Зміни струму через $ЛА$ передаються на вхід приймача $Пр-Дк$, який декодує отримане повідомлення.

Отже, індуктивний зв'язок між локомотивною і колійною антенами забезпечує передачу електромагнітного сигналу в двох напрямках, відповідно до чого реалізуються наступні функції: передача енергії для електроживлення колійного мікроконтролера та передача інформації від колійного прийомо-відповідача на локомотив. Це встановлює певну незалежність функціонування каналу ТКЗ-Л від принципів реалізації схем колійних пристроїв СЦБ, так як електроживлення $МкП$ здійснюється від локомотивної апаратури.

Математична модель точкового каналу зв'язку з локомотивом

Представимо локомотивну та колійну антени у вигляді прямокутних рамок, розташованих паралельно одна одній (рис. 2). Введемо наступні позначення: розміри ПА – $2a_1$ та $2b_1$; розміри ЛА – $2a_2$ та $2b_2$; відстань між площинами, в яких розташовані антени – H , горизонтальне зміщення між антенами – D .

Визначимо взаємну індуктивність між антенами. Спочатку будемо вважати, що антени містять по одному витку. В загальному випадку взаємна індуктивність двох контурів визначається наступним чином [6]

$$M = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{L_1} \int_{L_2} \frac{dl_1 dl_2}{r}, \quad (1)$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна стала; L_1 , L_2 – перший та другий контури; dl_1 , dl_2 – ділянки контурів L_1 , L_2 , відповідно, по яким виконується інтегрування; r – відстань між ділянками контурів.

Для двох прямокутних контурів загальну взаємоіндуктивність можна розрахувати методом ділянок, як суму взаємоіндуктивностей M_{kp} між прямолінійними ділянками контурів [6]

$$M = \sum_{k=1}^4 \sum_{p=1}^4 M_{kp}, \quad (2)$$

де M_{kp} визначається за формулою (1).

Так як взаємоіндуктивність двох перпендикулярних прямолінійних ділянок дорівнює нулю, будемо враховувати лише взаємну індуктивність паралельних ділянок [6]. З урахуванням взаємного розташування антен (див. рис. 2) отримаємо наступні вирази для визначення взаємоіндуктивності різних ділянок рамок:

$$M_{11'} = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \int_{-b_1}^{b_1} \int_{-b_2}^{b_2} \frac{dx_1 dx_2}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (D - a_2 + a_1)^2 + H^2}}, \quad (3)$$

$$M_{13'} = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \int_{-b_1}^{b_1} \int_{-b_2}^{b_2} \frac{dx_1 dx_2}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (D + a_2 + a_1)^2 + H^2}}, \quad (4)$$

$$M_{31'} = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \int_{-b_1}^{b_1} \int_{-b_2}^{b_2} \frac{dx_1 dx_2}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (D - a_2 - a_1)^2 + H^2}}, \quad (5)$$

$$M_{33'} = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \int_{-b_1}^{b_1} \int_{-b_2}^{b_2} \frac{dx_1 dx_2}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (D + a_2 - a_1)^2 + H^2}}, \quad (6)$$

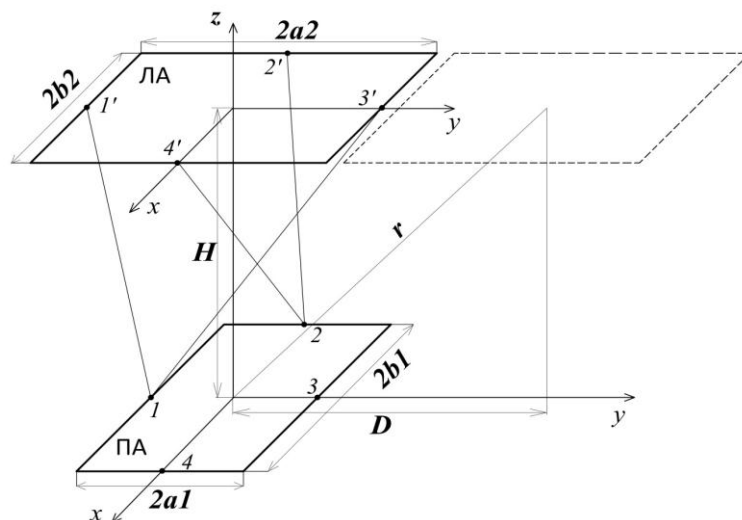


Рис. 2. Взаємне розташування локомотивної та колійної антен

$$M_{22'} = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \int_{-a_1}^{a_1} \int_{-a_2}^{a_2} \frac{dy_1 dy_2}{\sqrt{(y_2 - y_1 + D)^2 + (b_2 - b_1)^2 + H^2}}, \quad (7)$$

$$M_{24'} = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \int_{-a_1}^{a_1} \int_{-a_2}^{a_2} \frac{dy_1 dy_2}{\sqrt{(y_2 - y_1 + D)^2 + (b_2 + b_1)^2 + H^2}}. \quad (8)$$

З урахуванням взаємних напрямків протікання струмів в різних ділянках, а також враховуючи кількість витків W_1 та W_2 , визначимо повну взаємну індуктивність локомотивної та колійної антен

$$M = (M_{11'} - M_{13'} + M_{33'} - M_{31'} + 2M_{22'} - 2M_{24'}) \cdot W_1 \cdot W_2. \quad (9)$$

Визначимо власну індуктивність кожної антени [6]

$$L_1 = \frac{\mu_0}{\pi} \cdot \left[a_1 \cdot \ln \frac{2 \cdot a_1 \cdot b_1}{r_1 \cdot (a_1 + d_1)} + b_1 \cdot \ln \frac{2 \cdot a_1 \cdot b_1}{r_1 \cdot (b_1 + d_1)} - 2 \cdot (a_1 + b_1 - d_1) \right] + \frac{\mu \cdot \mu_0}{\pi} \cdot \left(\frac{a_1 + b_1}{4} \right) \cdot W_1^2, \quad (10)$$

$$L_2 = \frac{\mu_0}{\pi} \cdot \left[a_2 \cdot \ln \frac{2 \cdot a_2 \cdot b_2}{r_2 \cdot (a_2 + d_2)} + b_2 \cdot \ln \frac{2 \cdot a_2 \cdot b_2}{r_2 \cdot (b_2 + d_2)} - 2 \cdot (a_2 + b_2 - d_2) \right] + \frac{\mu \cdot \mu_0}{\pi} \cdot \left(\frac{a_2 + b_2}{4} \right) \cdot W_2^2, \quad (11)$$

де μ – магнітна проникність матеріалу проводу; r_1 та r_2 – радіус перерізу проводів антен; $d_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$; $d_2 = \sqrt{a_2^2 + b_2^2}$.

Розглянемо процес передачі енергії від локомотивної до колійної антен, використовуючи схему заміщення, представлену на рис. 3.

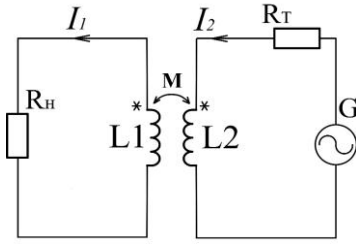


Рис. 3. Електрична схема заміщення локомотивної та колійної антен

Використовуючи другий закон Кірхгофа в комплексній формі отримаємо наступну систему рівнянь

$$\begin{cases} \dot{U}_\Gamma = j\omega L_2 \cdot \dot{I}_2 + \dot{I}_2 \cdot R_T - j\omega M \cdot \dot{I}_1, \\ 0 = R_H \cdot \dot{I}_1 + j\omega L_1 \cdot \dot{I}_1 - j\omega M \cdot \dot{I}_2 \end{cases}, \quad (12)$$

де $\dot{U}_\Gamma$ – вихідна напруга локомотивного генератора; ω – частота генератора; R_T – опір струмового резистора; R_H – опір навантаження колійної антени.

Із системи рівнянь (12) отримаємо наступний вираз для визначення струму в колійній антені

$$\dot{I}_1 = j\omega M \cdot \dot{U}_\Gamma \cdot \left[(R_H + j\omega L_1) \times (j\omega L_2 + R_T) - (j\omega M)^2 \right]^{-1}. \quad (13)$$

З урахуванням виразу (13) отримаємо напругу, що наводиться у колійній котушці

$$\dot{U}_1 = j\omega M \cdot \dot{U}_\Gamma \cdot R_H \cdot \left[(R_H + j\omega L_1) \times (j\omega L_2 + R_T) - (j\omega M)^2 \right]^{-1}. \quad (14)$$

Знайдемо умови для передачі максимальної потужності з локомотивного контуру у колійний. Перепишемо систему (12) наступним чином

$$\begin{cases} \dot{U}_\Gamma = \dot{I}_2 \cdot \dot{Z}_2 - \dot{I}_1 \cdot \dot{Z}_M, \\ 0 = \dot{I}_1 \cdot \dot{Z}_1 - \dot{I}_2 \cdot \dot{Z}_M \end{cases}, \quad (15)$$

де $\dot{Z}_1 = R_H + j\omega L_1$; $\dot{Z}_2 = R_T + j\omega L_2$; $\dot{Z}_M = j\omega M$.

Визначимо вхідний опір локомотивного контуру

$$\dot{Z}_{\text{вх.}} = \frac{\dot{U}_\Gamma}{\dot{I}_2} = \dot{Z}_2 + \frac{\dot{Z}_M^2}{\dot{Z}_1}. \quad (16)$$

Таким чином, опір, що вносить другий контур у перший за рахунок індуктивного зв'язку, дорівнює

$$\dot{Z}_{\text{вн.}} = \frac{\dot{Z}_M^2}{\dot{Z}_1} = \frac{R_H \cdot X_M^2}{R_H^2 + X_1^2} - j \frac{X_1 \cdot X_M^2}{R_H^2 + X_1^2}, \quad (17)$$

де $X_1 = \omega L_1$; $X_M = \omega M$.

Відомо, що для передачі максимальної потужності між контурами, повинні виконуватись наступні умови [7]:

$$R_\Gamma = R_{\text{вн.}} = \frac{R_H \cdot X_M^2}{R_H^2 + X_1^2}, \quad (18)$$

$$X_2 = -X_{\text{вн.}} = \frac{X_1 \cdot X_M^2}{R_H^2 + X_1^2}, \quad (19)$$

де $X_2 = \omega L_2$.

Опори X_1 , X_2 , X_M залежать від робочої частоти та параметрів локомотивної і колійної антен: їх розмірів та взаємного розташування, числа витків. Таким чином, раціонально обрав дані параметри, можна досягти максимальної передачі потужності.

Розглянемо процес передачі інформації від колійного прийомо-відповідача на локомотив. Використовуючи систему рівнянь (12), визначимо струм у локомотивного контури

$$\dot{I}_2 = \dot{U}_\Gamma \cdot (R_H + j\omega L_1) \times \left[(R_H + j\omega L_1) \times \right. \\ \left. \times (R_\Gamma + j\omega L_2) + (\omega \cdot M)^2 \right]^{-1}. \quad (20)$$

В залежності від повідомлення, що передається на локомотив, замикається електронний ключ $S_{\text{ш}}$, що призводить до шунтування контуру $L_p C_p$ резистором $R_{\text{ш}}$ (див. рис. 1). При цьому змінюється струм як у колійному, так і локомотивному контурі, що фіксується приймачем-декодером. Якщо ключ $S_{\text{ш}}$ розімкнений, то струм у локомотивному контурі визначається виразом (20),

що відповідає логічному нулю. У разі замикання електронного ключа струм I_2 збільшується до рівня логічної одиниці. Для визначення цього рівня необхідно у вираз (20) замість R_H підставити $R_{\text{нш}} = R_H R_{\text{ш}} / (R_H + R_{\text{ш}})$.

Результати досліджень

За допомогою розробленої математичної моделі були проведені дослідження ТКЗ-Л, які дозволили дати рекомендації щодо вибору параметрів локомотивної та колійної антен, при яких спостерігається максимальний взаємний зв'язок та передача енергії. В якості цільової функції була обрана напруга U_1 , що наводиться у колійній антені. Всі розрахунки були виконані за допомогою пакету MATLAB.

Напруга U_1 залежить від багатьох параметрів, деякі з яких були обрані з урахуванням певних обмежень чи норм. Так згідно з габаритами локомотиву та його підвищеного обладнання була обрана відстань між плоскостями антен $H = 0,3$ м. Моделювання проводили при частоті генератора $f_\Gamma = 13,056$ МГц, що відповідає стандарту АЛСР, та при вихідній напрузі генератора $U_\Gamma = 50$ В (дорівнює напрузі живлення локомотивної апаратури АЛСН). Були також обрані наступні значення опорів резисторів: $R_\Gamma = 20$ Ом, $R_H = 100$ Ом. Радіус перерізу мідних жил локомотивної та колійної катушок прийняли $r_0 = 0,5$ мм² (розрахований на струм до 2 А).

Відомо, що стандартна баліза має наступні розміри: 400×540×25 мм [2]. Також використовуються балізи зменшених розмірів. Згідно з цим були обрані параметри колійної антени: $2a_1 = 360$ мм, $2b_1 = 500$ мм.

На першому етапі була розрахована залежність напруги U_1 , що наводиться у колійній антені, від розмірів локомотивної антени (рис. 4). При цьому вважали, що антени містять по одному витку.

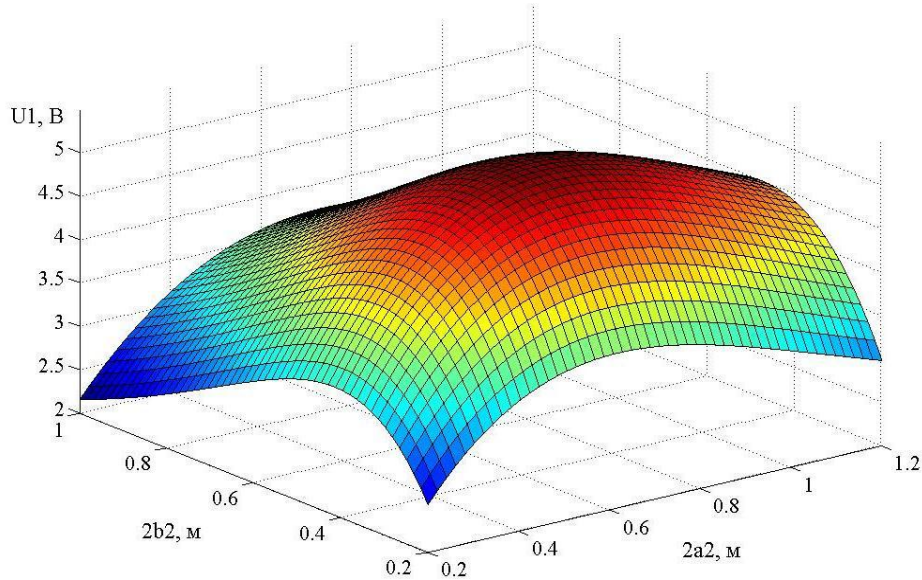


Рис. 4. Залежність напруги U_1 від розмірів локомотивної антени

Як показує отримана залежність, розміри локомотивної антени суттєво впливають на U_1 . Найбільше значення напруги, а саме 5,37 В, спостерігається при таких параметрах: $2a_2 = 670$ мм, $2b_2 = 445$ мм.

Після визначення раціональних розмірів локомотивної антени були отримані залежності напруги U_1 від кількості витків у обох антенах при різних значеннях опору навантаження (рис. 5 та 6). Від кількості витків W_1 та W_2 залежать взаємна індуктивність та власні індуктивності антен, які відповідно впливають на реактивні опори X_1 , X_2 , X_m . При виконанні умов (18), (19) забезпечується передача максимальної потужності, а отже і наведення у колійній антені максимальної напруги. Як показують залежності, що представлені на рис. 5, вибір кількості витків W_1 необхідно проводити з урахуванням значення R_H . Так при опорі навантаження 50 Ом доцільно використовувати колійну антену з одним витком, при опорі 100 Ом – з двома витками, при опорі 500 Ом раціонально обрати 4-5 витків, а при опорі 1000 Ом – 6-7 витків.

З рис. 6 видно, що при збільшенні параметру W_2 напруга U_1 монотонно зменшується. Таким чином доцільно обрати локо-

мотивну антену із одним витком. Залежності представлені на рис. 5 та 6 також показують суттєву залежність напруги U_1 від опору навантаження, який представляє собою вхідний опір випрямляча (див. рис. 1).

На останньому етапі були проведені дослідження для визначення зони чутливості колійного прийомо-відповідача. З цією метою була розрахована залежність напруги U_1 від горизонтального зміщення між антенами (рис. 7). Для того, щоб знайти довжину зони чутливості, необхідно обрати певний граничний рівень напруги U_1 , при якому буде забезпечуватись нормальне функціонування колійного прийомо-відповідача. Так при граничному рівні 5 В (стандартний рівень живлення цифрових мікросхем) зона чутливості буде складати 0,52 м. Даний параметр впливає на максимальну швидкість поїзда, при якій ще працює ТКЗ-Л. Наприклад, при довжині інформаційного пакета 1023 біта та швидкості передачі даних 564,9 кбіт/с, що відповідає стандарту ERTMS [2], а також при довжині зони чутливості балізи 0,52 м та двукратній передачі даних максимальна розрахункова швидкість поїзда складає 529,3 км/год.

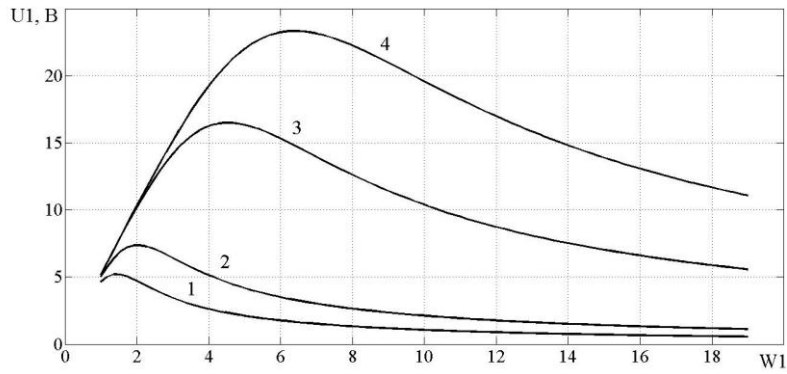


Рис. 5. Залежність напруги U_1 від кількості витків коїної антени:
1) – $R_H = 50 \text{ Ом}$; 2) – $R_H = 100 \text{ Ом}$; 3) – $R_H = 500 \text{ Ом}$; 4) – $R_H = 1000 \text{ Ом}$

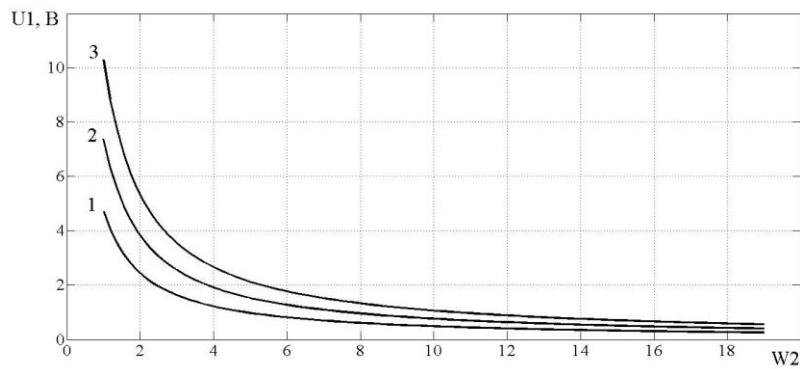


Рис. 6. Залежність напруги U_1 від кількості витків локомотивної антени:
1) – $R_H = 50 \text{ Ом}$; 2) – $R_H = 100 \text{ Ом}$; 3) – $R_H = 1000 \text{ Ом}$

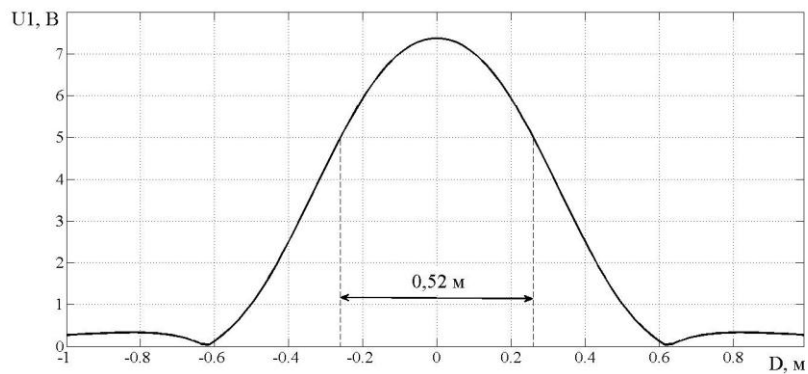


Рис. 7. Залежність напруги U_1 від горизонтального зміщення між антенами

Висновки

1. В умовах впровадження в Україні швидкісного, а в перспективі і високошвидкісного руху, виникає необхідність в удосконаленні локомотивних засобів забезпечення безпеки руху поїзда. Один із шляхів вирішення цієї проблеми пов'язаний із застосуванням додаткового точкового каналу зв'язку для передачі інформації з колії на локомотив.
2. Розроблена математична модель точкового каналу зв'язку з локомотивом дозволила отримати залежності між напругою, що наводиться у колійному прийому-відповідачі, та параметрами локомотивної і колійної антен.

3. Проведені дослідження показали, що при використанні балізи стандартного розміру, а саме 400×540 мм, раціонально використовувати локомотивну антену з одним витком та розмірами 670×445 мм. Кількість витків у колійній антені необхідно обирати в залежності від опору навантаження. Наприклад, при опорі 100 Ом доцільно використовувати антену з двома витками. Розрахункова зона чутливості колійного прийомовідповідача становить 0,52 м, що дозволяє передавати дані на локомотив при швидкості руху поїзда до 529,3 км/год.
4. Розроблена математична модель може бути корисною при удосконаленні існуючих та проектуванні нових систем забезпечення безпеки руху поїзда.

Бібліографічний список

1. Бергер, Р. Координация внедрения системы ETCS на европейской сети [Текст] / Р. Бергер // Железные дороги мира. – 2005. – № 10. – С. 57-61.
2. Бойник, А. Б. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах [Текст] / А. Б. Бойник, С. В. Кошевой, С. В. Панченко и др. – Харьков: УкрГАЗТ, 2005. – 256 с.
3. Брылеев, А. М. Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка [Текст] / А. М. Брылеев, О. Поупе, В. С. Дмитриев и др. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.
4. Бурковский, Ю. В. Порівняльний аналіз традиційних та координатних систем інтервального регулювання руху поїздів [Текст] / Ю. В. Бурковский, К. В. Гончаров // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2014. – № 7. – С. 63-69.
5. Казаков, А. А. Автоматизированные системы интервального регулирования движения поездов [Текст] / А. А. Казаков, В. Д. Бубнов, Е. А. Казаков. – М.: Транспорт, 1995. – 320 с.
6. Калантаров, П. Л. Расчет индуктивностей [Текст] / П. Л. Калантаров, Л. А. Цейтлин. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.
7. Нейман, Л. Р. Теоретические основы электротехники, Том 1 [Текст] / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян – Л.: Энергия, 1967. – 522 с.
8. Попов, П. А. Подсистема евробализов. Техническое описание [Текст] / П. А. Попов, А. С. Ададуров // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – №9. – С. 14 – 15.
9. Система ETCS: перспективы и опыт [Текст] // Железные дороги мира. – 2008. – №4. – С. 63-71.
10. Тильк, И. Г. Новые устройства автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта [Текст] / И. Г. Тильк. – Екатеринбург : УрГУПС, 2010. – 168 с.
11. Theeg, G. Railway Signalling and Interlocking. International Compendium [Текст] / G. Theeg, S. Vlasenko. – Hamburg: Eurailpress, 2009. – 448 p.

Ключові слова: точковий канал зв'язку з локомотивом, баліза, взаємна індуктивність, коливальний контур.

Ключевые слова: точечный канал связи с локомотивом, бализа, взаимная индуктивность, колебательный контур.

Keywords: point communication channel with a locomotive, balise, mutual inductance, oscillation circuit.

Рецензенти:

д.т.н., проф. А. Б. Бойнік,
д.ф.-м.н., проф. В. І. Гаврилюк.

Надійшла до редколегії 21.10.2015.
Прийнята до друку 28.10.2015.