



блокировки ОАО РЖД (утверждена распоряжением ОАО "РЖД" от 26.11.2015 № 2765р).

4. Инструкция по обеспечению безопасности движения поездов при технической эксплуатации устройств и систем СЦБ утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 20.09.2011 г. № 2055р.

5. Ворона В.К. Условные графические обозначения устройств СЦБ: учебное иллюстрированное пособие. - М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007 г.

6. СЦБИСТ - железнодорожный форум, блоги, фотогалерея, социальная сеть URL: <http://scbist.com/> (дата обращения: 10.04.20).

Е.М. Тарасов, А.Е. Тарасова

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ПЕРЕЕЗДНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ С РАСШИРЕННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

(Самарский государственный университет путей сообщения)

Введение

В настоящее время на сети железных дорог эксплуатируется свыше 10 тыс. переездов, в том числе оборудованных автоматической переездной сигнализацией – 8,5 тыс. штук. Функционально автоматическая переездная сигнализация состоит из трех составных частей: датчика информации о приближении поезда к переезду, устройства оповещения водителей автотранспорта и устройства управления ограждающими устройствами. В качестве ограждающих устройств используются переездные шлагбаумы и устройства заграждения переездов, оповестительным устройством на переезде является светофор, включающийся при вступлении поезда на участок приближения и сигнализирующий красным огнем и зуммер [1, 2].

Датчиком приближения поезда к переезду является электрическая рельсовая цепь, чувствительным элементом которой служат рельсовые линии участка приближения. Участок приближения – электрически изолированная рельсовая линия, с двух концов огражденная от смежных рельсовых линий изолирующими стыками. Длина участка приближения рассчитывается исходя из скорости поездов, курсирующих на участке, оборудованном переездом, и составляет $1,5 \div 2,0$ км. Функционально датчик дискретный, он срабатывает при вступлении приближающегося поезда на участок приближения, и от этой информации срабатывают устройства оповещения и ограждения. Т.к. длина участка приближения рассчитывается по условию максимальной скорости приближающегося поезда, то время закрытого состояния переезда для автотранспорта составляет 40-45 с, а если поезд движется медленно, то время закрытого состояния составляет $40 \div 50$ мин, и водители автотранспорта, не имея инфор-



мацию о приближающемся поезде, объезжают шлагбаум, на переездах иногда застревают автомобили, глохнут двигатели и т.д.

Машинист поезда не имеет информации о свободности переезда и не может заблаговременно привести в действие тормоза в случае наличия препятствия на переезде. Поэтому ежегодно происходит свыше 200 ДТП на переездах, иногда с автобусами, в результате гибнут люди, из инвентарного парка выводятся свыше 100 локомотивов, автотранспорт разбивается до состояния невозможности восстановления, сотни вагонов списываются.

Основной причиной значительного количества ДТП является низкая информативная возможность автоматической переездной сигнализации.

Материалы и методы

Информированность участников движения на переездах возможно повысить расширением функциональных возможностей существующей автоматической переездной сигнализации с добавлением модуля информирования машинистов поездов о свободности переезда для движения поезда М1, модуля автоматического приведения в действие тормозов поездов М2 в случае игнорирования локомотивными бригадами информации о занятости переезда автотранспортом или иным грузом, препятствующим движению поездов, модуля информирования водителей автотранспорта М3 о вступлении и движении поезда по направлению к переезду (рис. 1) [3].

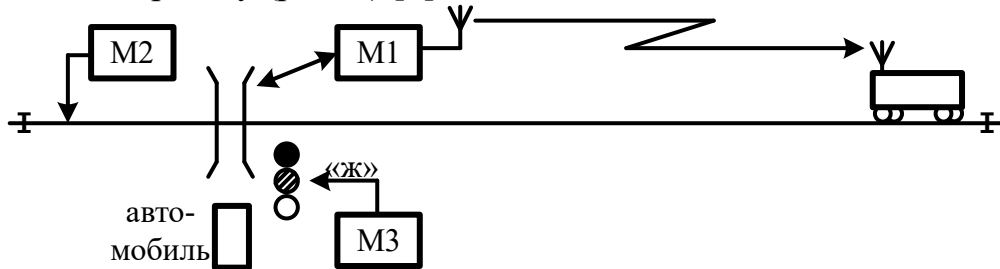


Рис. 1. Структурная схема переездной сигнализации с информационными М1, М3 и управляющими М2 модулями

Все эти модули функционируют с использованием данных о скорости и координатах движения поездов V_n с целью оптимизации времени закрытого состояния переезда и своевременного оповещения водителей автотранспорта о поездной ситуации, а также информирования локомотивных бригад. Координату и скорость поезда удобно вычислять, используя информацию комплексных амплитуд напряжений \dot{U} и токов \dot{I} на входе рельсовой линии участка приближения.

Координату и скорость поезда $V_n = f(\dot{U}, \dot{I})$ можно определить несколькими способами:

– по входному сопротивлению:

$$\underline{Z}_{ex} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}, \quad \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{U_1}{I_1} e^{j(\varphi_U - \varphi_I)}; \quad (1)$$

– решающей функцией классифицирующего устройства:



$$d(X) = C_0 + C_1 U_1 + C_2 I_1 + C_3 \varphi_U + C_4 \varphi_I + C_5 U_1 I_1 + \dots + C_n \varphi_U \varphi_I, \quad (2)$$

где $C_0 \div C_n$ – коэффициенты полинома решающей функции;

$U_1, \varphi_U, I_1, \varphi_I$ – первичные измеряемые признаки;

$d(X)$ – решающая функция координаты поезда.

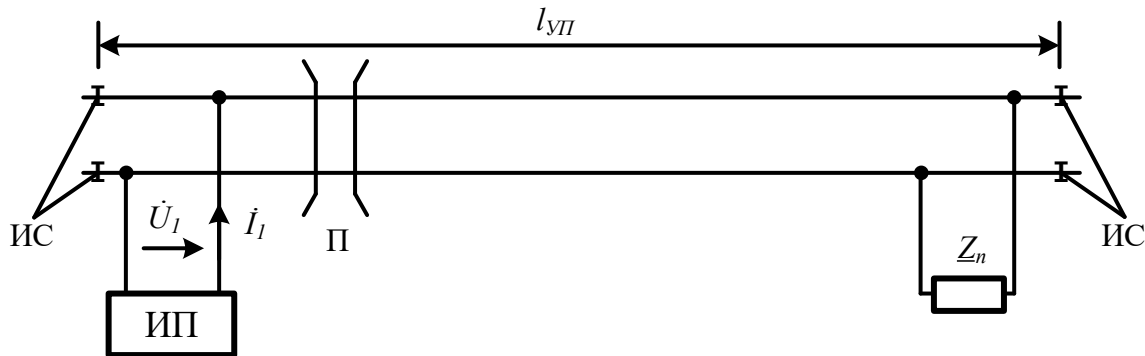


Рис. 2. Структурная схема рельсовой цепи участка приближения к переезду: ИП – источник питания сигнала опроса рельсовой линии – чувствительного элемента датчика; ИС – изолирующие стыки; П – переезд; \dot{U}_1, \dot{I}_1 – комплексные амплитуды напряжений и токов на входе рельсовой линии; l_{yp} – длина рельсовой линии участка приближения; Z_n – сопротивление нагрузки рельсовой цепи

Исходя из того, что чувствительным элементом датчика приближения являются рельсовые линии участка приближения, подверженные влиянию дестабилизирующих факторов и изменению первичных признаков рельсовых линий, функция входного сопротивления:

$$Z_{ex} = f(g, C, r, L, Z_n, Z_o),$$

где g – проводимость изоляции рельсовой линии; C – междурельсовая емкость; r, L – активное сопротивление и индуктивность рельсовой линии; Z_n, Z_o – комплексные сопротивления нагрузки и ограничителя тока в рельсовой линии, и поэтому определение координаты поезда и вычисление скорости по формуле

$$V_n = \frac{Z_{ex(t-1)} - Z_{ex(t)}}{\Delta l_{yp}} \quad (3)$$

неточное, что может привести к ошибкам I и II рода при управлении автоматической переездной сигнализацией.

Второй подход – использование решающей функции и принципа распознавания образов – более предпочтителен при определении координаты поезда, т.к. позволяет обеспечить инвариантность к наиболее влияющим и изменчивым параметрам [4], а именно к g и $Z_{pL} = r + j\omega L$.

При определении коэффициентов полинома решающей функции (2) можно воспользоваться принципами многомерной аппроксимации, при которой, добавляя новые координаты, например, по g и Z_{pL} , возможно добиться инвариантности к новым координатам. При этом необходимо учесть, что введение



новых координат ограничено, т.к. система уравнений получается несовместной, и количество строк $m \gg$, где m – количество строк, а n – количество столбцов – превышает десятки тысяч, а неизвестных коэффициентов $C_0 \div C_n$ – менее 20. Покажем алгоритм формирования системы уравнений. Каждое уравнение описывает определенную координату поезда $\Delta l_1, \Delta l_2, \dots, \Delta l_m$, а система составлена при одном значении g_i и сопротивлении рельсовой линии $\underline{Z}_{P\Lambda i}$

$$\left. \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^1 x_j^1 + \dots = \Delta l_1; \\ C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^2 x_j^2 + \dots = \Delta l_2; \\ \vdots \\ C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^m + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^m x_j^m + \dots = \Delta l_m; \end{array} \right\} g_i \\ \vdots \\ \left. \begin{array}{l} C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^1 x_j^1 + \dots = \Delta l_1; \\ C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^2 x_j^2 + \dots = \Delta l_2; \\ \vdots \\ C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^m + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^m x_j^m + \dots = \Delta l_m; \end{array} \right\} g_m \\ \vdots \\ \left. \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^1 x_j^1 + \dots = \Delta l_1; \\ C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^2 x_j^2 + \dots = \Delta l_2; \\ \vdots \\ C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^m + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^m x_j^m + \dots = \Delta l_m; \end{array} \right\} g_i \\ \vdots \\ \left. \begin{array}{l} C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^1 x_j^1 + \dots = \Delta l_1; \\ C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^2 x_j^2 + \dots = \Delta l_2; \\ \vdots \\ C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^m + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^m x_j^m + \dots = \Delta l_m; \end{array} \right\} g_m \end{array} \right\} \underline{Z}_{P\Lambda i} \\ \vdots \\ \left. \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^1 x_j^1 + \dots = \Delta l_1; \\ C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^2 x_j^2 + \dots = \Delta l_2; \\ \vdots \\ C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^m + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^m x_j^m + \dots = \Delta l_m; \end{array} \right\} g_i \\ \vdots \\ \left. \begin{array}{l} C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^1 x_j^1 + \dots = \Delta l_1; \\ C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^2 x_j^2 + \dots = \Delta l_2; \\ \vdots \\ C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x_i^m + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i^m x_j^m + \dots = \Delta l_m; \end{array} \right\} g_m \end{array} \right\} \underline{Z}_{P\Lambda m} \end{array} \right\} \vdots$$



Полученная система уравнений решается известными методами [5]:

$$X \cdot C \cdot X^T = l \cdot X^T,$$

и определяются искомые коэффициенты C_{ij} , что позволяет получить решающую функцию вычисления координаты поезда, инвариантную к изменениям проводимости изоляции g и сопротивления рельсовой линии $Z_{рл}$.

Выводы

Модульное построение информационно-управляющей системы переездной сигнализации позволяет заблаговременно оповещать (с учетом координаты и скорости движения поезда) локомотивные бригады о свободности зоны переезда, а также автоматически приводить в действия тормоза при достижении поездом критической координаты и игнорировании требований остановки поезда в случае занятости переезда автотранспортом, воздействуя по рельсовому каналу связи. Использование решающей функции при определении координаты поезда позволяет обеспечить инвариантность к некоторым особо влияющим параметрам, например, изменениям проводимости изоляции g – в 10 раз, до 4 См/км и полного сопротивления рельсовой линии $Z_{рл}$ – в 2 раза, до 1,6 Ом/км.

Литература

1. Тарасов, Е.М. Разработка информационно-управляющей системы переездной сигнализации с многопараметрическим датчиком координаты поезда [Текст] / Е.М. Тарасов, В.Л. Герус, А.Е. Тарасова // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2017) : труды Междунар. науч.-техн. конф. – 2017. – С. 742-745.
2. Брылеев, А.М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей [Текст] / А.М. Брылеев, Ю.А. Кравцов, А.В. Шишляков. – Москва : Транспорт, 1978. – 344 с.
3. Патент № 2281219. Способ управления автоматической переездной сигнализацией / Е.М. Тарасов. – Заявл. 14.02.2005. Опубл. БИ 10.08.2006.
4. Тарасов, Е.М. Обеспечение инвариантности к возмущающим воздействиям в рельсовых линиях [Текст] / Е.М. Тарасов, Д.В. Железнов, Н.Н. Васин, А.Е. Тарасова // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29. № 2. – С. 152-168.
5. Корн, М.Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г.А. Корн, Т.М. Корн. – М. : Наука, 1970. – 720 с.