



2. Дмитренко, И.Е. Техническая диагностика и автоконтроль систем железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст] / И.Е. Дмитренко. – М.: Транспорт, 1986. – 144с.

3. Тарасов, Е.М. Принцип инвариантности в системах контроля состояний рельсовых линий [Текст] / Е.М. Тарасов, Д.В. Железнов, А.С. Белоногов. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. – 213 с.

4. Железнов, Д.В. Концепция мониторинга и диагностики состояний токопроводящих стыков [Текст] / Д.В. Железнов, А.Г. Исайчева // Вестник транспорта Поволжья. – 2015. – № 4. – С. 15-18.

5. 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 Международной научно-технической конференции. – Самара, 2017. – С. 742-745.

6. Tarasov, E.M. Development of an intelligent system of determining the coordinates and the speed of the train [Text] / E.M. Tarasov, D.V. Zheleznov // Transport and Telecommunication. – 2016. – Vol. 17, No. 2. – P. 138-143.

А.Е. Тарасова, Н.А. Кравцова

## ОПТИМИЗАЦИЯ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ИМПЕДАНСОВ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ МЕТОДОМ ХУКА-ДЖИВСА

(Самарский государственный университет путей сообщения)

Управление автоматической переездной сигнализацией предполагает минимизацию времени простоя автотранспорта у закрытого переезда. Для этого необходима информация о координате и скорости приближающегося поезда [1]. При синтезе интеллектуальных систем управления переездной сигнализацией необходимо выполнить условие по разграничению классов состояний нормального и шунтового режимов т.е:

$$K_{ш} = \frac{Z_{вх\ min}^н}{Z_{вх\ max}^ш} \geq 1.2;$$

где  $Z_{вх\ min}^н$  – минимальное значение входного импеданса четырехполюсника рельсовой цепи контрольного участка приближения перед переездом в нормальном режиме при минимальной проводимости изоляции рельсовых линий;

$Z_{вх\ max}^ш$  – максимальное значение входного импеданса четырехполюсника рельсовой цепи контрольного участка приближения перед переездом в шунтовом режиме при максимальной проводимости изоляции рельсовых линий;



1.2–коэффициент запаса по классификации нормального и шунтового режимов [2].

Значение входного сопротивления  $\underline{Z}_{\text{ex}}$  обобщенного рельсового четырехполюсника, представленного на рис. 1, определяется следующим образом.

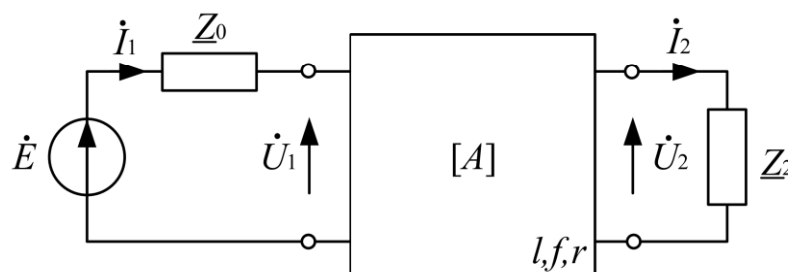


Рис. 1. Схема обобщенного четырехполюсника рельсовой линии

Уравнение состояния обобщенного рельсового четырехполюсника имеет вид [3]:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \underline{A}\dot{U}_2 + \underline{B}\dot{I}_2; \\ \dot{I}_1 &= \underline{C}\dot{U}_2 + \underline{D}\dot{I}_2. \end{aligned}$$

Т.к. напряжение и ток на выходе рельсового четырехполюсника связаны через постоянное сопротивление нагрузки  $\underline{Z}_2$ , то:

$$\begin{aligned} \dot{I}_2 &= \frac{\dot{U}_2}{\underline{Z}_2}; \\ \underline{Z}_{\text{ex}} &= \frac{\underline{A}\underline{Z}_2 + \underline{B}}{\underline{C}\underline{Z}_2 + \underline{D}}; \end{aligned}$$

где

$\underline{Z}_2$  – сопротивление нагрузки четырехполюсника рельсовой линии;

$\underline{Z}_0$  – сопротивление ограничителя тока в рельсовой линии;

$$\begin{cases} \underline{A} = ch\underline{\gamma}l; \\ \underline{B} = \underline{Z}_g sh\underline{\gamma}l; \\ \underline{C} = \frac{1}{\underline{Z}_g} sh\underline{\gamma}l; \\ \underline{D} = A = ch\underline{\gamma}l. \end{cases}$$

Коэффициент распространения волны вдоль рельсовой линии:

$$\underline{\gamma} = \sqrt{(r + j\omega L)(g + j\omega C)},$$

волновое сопротивление

$$\underline{Z}_g = \sqrt{(r + j\omega L) / (g + j\omega C)},$$

где  $r$  – активная составляющая продольного сопротивления РЛ;

$j\omega L$  – индуктивная составляющая сопротивления РЛ;



$g$  – междурельсовая проводимость РЛ;

$C$  – емкость, составленная двумя рельсами.

Относительная погрешность определения координат поезда по условиям обеспечения безопасности функционирования устройств автоматической переездной сигнализации не должна превышать 2% [4]. Сформулированное условие возможно выполнить оптимизацией параметров компонент схемы по концам рельсовой линии. Выбор оптимальных значений параметров элементов является одной из задач параметрической оптимизации элементов классификатора координат поезда. В процессе оптимизации параметров схемы происходит поиск минимума ошибки определения координат:

$$S = (Z_0, \varphi_0, Z_2, \varphi_2) \rightarrow \min,$$

где  $Z_0$  – модуль входного импеданса,  $\varphi_0$  – аргумент входного импеданса,  $Z_2$  – модуль выходного импеданса,  $\varphi_2$  – аргумент выходного импеданса.

Оптимизацию входных и выходных импедансов четырехполюсника рельсовой линии можно осуществить двумя способами, а именно: используя аналитическую функцию и, наряду с оценкой функции, информацию о градиенте. Первый относится к прямым аналитическим методам поиска, а второй – к численным градиентным. При анализе рельсовых цепей получить аналитические отношения, связывающие входные и выходные электрические параметры, затруднительно, поэтому использовать прямые аналитические методы нецелесообразно.

В работе для оптимизации входных и выходных импедансов четырехполюсника рельсовой линии по критерию минимума относительной ошибки определения координат поезда применен метод Хука–Дживса [5].

Сущность метода заключается в том, что осуществляются попеременные зондирующие и модельные ходы. Зондирующий ход определяет приемлемое направление из текущей точки в пространстве изменяемых параметров элементов в точку, и это направление обеспечивает минимизацию  $S$ . Положим, что начальная точка  $\underline{Z}_{ex}^{(s)}$  соответствует приближению о допустимой минимальной ошибке. Необходимо исследовать окрестность выбранной точки (делая малые шаги вдоль оси оптимизируемого множества  $Z_0, \varphi_0, Z_2, \varphi_2$ ) и найти минимизируемое направление.

Практическая реализация зондирующего хода состоит из:

шаг 1  $i = 1, \underline{Z}_{ex} = \underline{Z}_{ex}^1(\underline{Z}_i)$  при  $\underline{Z}^B = (Z_0^B, Z_2^B, \varphi_0^B, \varphi_2^B)$ ;

шаг 2  $\underline{Z}_0^B = \underline{Z}_0^B + \Delta \underline{Z}_0$ , для  $i = 1$ ;

шаг 3 если  $\underline{Z}_{ex}^{1(B)} > \underline{Z}_{ex}$ , то  $\underline{Z}_{ex} = \underline{Z}_{ex}^{1(B)}$ ,  $i = i + 1$ , переход к шагу 2;

шаг 4 если  $\underline{Z}_{ex}^{1(B)} < \underline{Z}_{ex}$ , то  $\underline{Z}_{ex} = \underline{Z}_0^B - \Delta \underline{Z}_0$ , для  $i = 1$ , переход к шагу 2;

шаг 5 если  $\underline{Z}_{ex}^{1(B)} \leq \underline{Z}_{ex}$ , то оставляем  $\underline{Z}_0^B$  без изменения,  $\varphi_0 = \varphi_0 + \Delta \varphi, i = 1$ , переход к шагу 2.



Таким образом, шаги 1-5, осуществляемые от 1 до  $n$ , определяют новую базисную точку  $\underline{z}_{ex}^{(C)}$ , в которой относительная ошибка меньше, чем в априорно принятой базисной точке ( $\epsilon$ ). Теперь направление движения от точки  $\underline{z}_{ex}^{(\epsilon)}$  к точке  $\underline{z}_{ex}^{(C)}$  установлено, поэтому следующим шагом осуществляется модельный ход в этом направлении согласно полученной информации о величине относительной ошибки определения координаты поезда. Шаг модельного хода превышает в два раза расстояния от  $\underline{z}_{ex}^{(\epsilon)}$  к  $\underline{z}_{ex}^{(C)}$ , начиная с точки  $\underline{z}_{ex}^{(\epsilon)}$ , и делается в направлении от  $\underline{z}_{ex}^{(\epsilon)}$  к  $\underline{z}_{ex}^{(C)}$ . Таким образом, шаги повторяются до тех пор, пока не будет достигнут минимум относительной ошибки определения координаты поезда.

На рис. 2 представлены области существования входного импеданса четырехполюсника рельсовой линии на участке приближения к переезду в классах нормального и шунтового режимов при различных сопротивлениях изоляции и координатах места нахождения поезда оптимизированными сопротивлениями по концам рельсовой линии. Результаты оптимизации сопротивлений по концам рельсовых линий представлены в таблице 1.

Таблица 1

$L$ , км	0,75	1	1,5	2,0
$K_{ii}$	1,44	1,234	1,23	1,21
$\Delta S$	0,064	0,23	0,32	0,54



Рис. 2. График изменения входного импеданса при движении поезда от начала участка приближения до переезда

Наибольшая ошибка определения координат шунта имеет место на входе участка приближения, т.к. продольное сопротивление рельсовой линии вносит погрешность определения координаты. Также изменение проводимости изоляции отрицательно влияет на погрешность определения координаты. Тем не менее, ошибка не превышает 2%, поэтому представленный метод определения координаты приемлем для практической реализации. Следовательно, градиентный метод Хука-Дживса входных и выходных



импедансов четырехполюсника рельсовой линии позволяет достаточно просто минимизировать ошибку определения координаты поезда на участке приближения к переезду длиной до 2,0 км при максимальной проводимости изоляции  $g_{из\max} \leq 1,0 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ .

### 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 Международной научно-технической конференции. – Самара, 2017. – С. 742-745.
2. Брылеев, А.М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей [Текст] / А.М. Брылеев, Ю.А. Кравцов, А.В. Шишляков. – М.: Транспорт, 1978. – 344 с.
3. Пат. 2281219 Российская Федерация, МПК В61L 29/22 (2006.01). Способ управления автоматической переездной сигнализацией [Текст] / Е.М. Тарасов. – № 2005103884; заявл. 14.02.05; опубл. 10.08.2006, Бюл. №22.
4. Пат. 2025321 Российская Федерация, МПК В60L 15/20 (1990.01). Устройство для контроля параметров движения железнодорожного транспортного средства [Текст] / Ю.И. Полевой, В.М. Шумаков, Н.А. Кравцова. – №4866743; заявл. 28.06.90; опубл. 30.12.1994.
5. Волик, В.Г. Микропроцессорный классификатор состояний рельсовых линий [Текст] / В.Г. Волик, Н.И. Харламова, В.М. Шумаков, А.Е. Тарасова // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – № 6. – С. 98-103.