



[3] Солдаткин В.В. Система воздушных сигналов вертолета на основе неподвижного аэрометрического приемника и информации аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта: Монография Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. 2012. 284 с.

[4] Матросов В.М., Анапольский А.Ю., Васильев С.Н. Принцип сравнения в математической теории систем. Новосибирск: Наука, 1979. 481 с.

[5] Солодов А.В. Методы теории систем в задачах непрерывной фильтрации. М.: Наука, 1976. 264 с.

[6] Макаров Н.Н. Система обеспечения безопасности функционирования бортового эргатического комплекса: теория, проектирование, применение / Под ред. докт. техн. наук В.М. Солдаткина. М.: Машиностроение / Машиностроение-Полет, 2009. 760 с.

Е.М. Тарасов, А.А. Булатов, А.Г. Исайчева, А.Е. Тарасова

ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ СТЫКОВ

(Самарский государственный университет путей сообщения)

Иерархическая структура системы диагностирования предполагает обработку и анализ части информации на различных уровнях, что значительно повышает надежность функционирования объекта диагностики, т.к. уменьшается количество передаваемой информации, повышается эффективность межуровневых каналов передачи информации и существенно сокращается время устранения неисправности, т.к. обслуживающий персонал получает информацию непосредственно из нижнего уровня систем диагностики, а не из центра мониторинга и диагностики (верхний уровень) после фиксации события, протоколирования [1]. Аналогичный подход приемлем при диагностировании систем электрической централизации. При этом всю стационарную технологическую аппаратуру можно отнести ко второму (среднему) уровню иерархии. На нижнем, третьем уровне системы диагностирования контролю подвергаются стационарные рельсовые цепи, стрелочно-путевые секции, электроприводы и т.д. Наиболее сложным диагностируемым элементом стрелочно-путевых секций являются контроль стыковых соединителей, т.к. секции разветвленные, стыковые соединители рассредоточены вдоль по рельсовым линиям [2,3].

Рассмотрим принцип организации диагностики и мониторинга сопротивления токопроводящих стыков (ТПС) для типичной горловины станции с двумя ответвлениями и одним главным путем с автономной обработкой информации на третьем уровне (рис.1).

Стрелочно-путевая секция оборудована рельсовой цепью, и каждый путь контролируется индивидуальным приемником информации: Z_{n1} , Z_{n2} и Z_{n3} . Так



как целью работы является разработка подхода диагностики токопроводящих стыков, согласующие элементы и дроссель-трансформаторы не диагностируются (их диагностика осуществляется иными методами), то они из графического изображения структурной схемы исключаются, а в качестве входного воздействия принимается синусоидальное напряжение источника питания на входе рельсового участка [4].

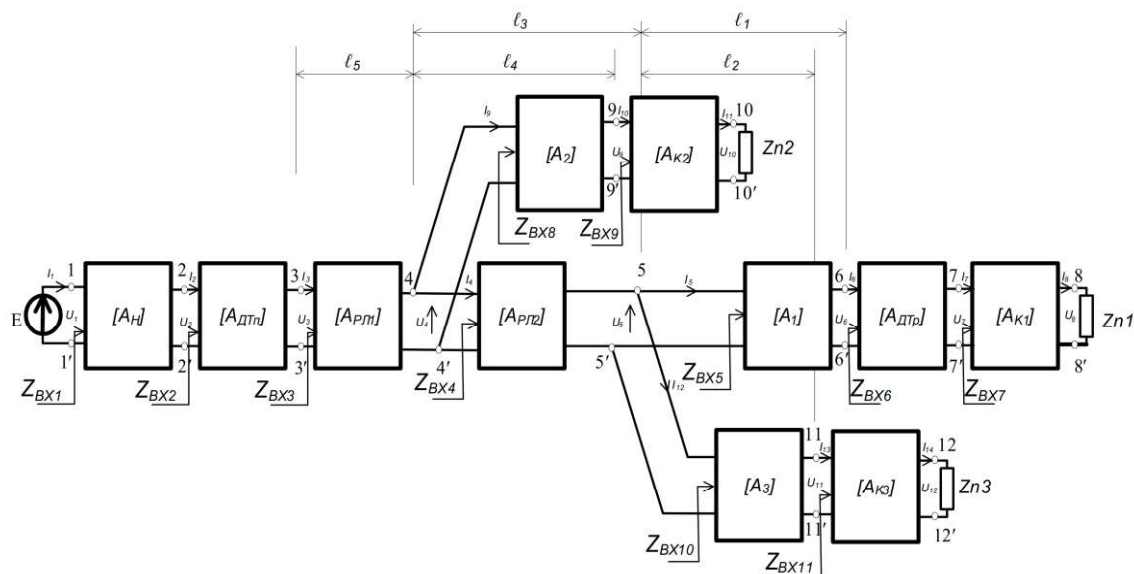


Рис. 1. Структурная схема стрелочно-путевой секции

Задача диагностики сопротивления токопроводящих стыков аналогична задаче распознавания непрерывно изменяющихся состояний объектов. Решать задачу диагностики сопротивлений ТПС необходимо с применением решающих функций (РФ), и задача заключается в нахождении зависимости функции сопротивления ТПС от некоторых изменяемых параметров (X) при колебании сопротивления ТПС:

$$Z_i(X) = f(x_{ij}), \forall i = 1, 2 \dots n, j = 1, 2 \dots m,$$

где $Z_i(X)$ – функция диагностики, x_{ij} – значения первичных информативных признаков, являющихся аргументами РФ, зависящих от состояния ТПС.

С целью упрощения процедуры диагностирования состояний токопроводящих стыков при технической реализации сначала принимается линейная диагностирующая функция, а затем, если точность диагностирования ТПС не удовлетворит априорно поставленным условиям, функции усложняются до нелинейных посредством процедуры обобщения [5].

Линейная диагностирующая функция $Z(x)$ может быть записана в следующем виде:

$$Z(X) = k_0 + \sum_{i=1}^n k_i x_i \dots,$$



где коэффициенты k_0, k_i являются компонентами вектора \mathbf{k} . Добавив в это уравнение члены, содержащие произведения двух компонент вектора \mathbf{k} , получим квадратичную диагностирующую функцию:

$$Z(X) = k_0 + \sum_{i=1}^n k_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij} x_{ij} \dots$$

Продолжая вводить дополнительные члены, такие, как $k_{ijk} x_i, x_j, x_k$, можно получить класс полиномиальных диагностирующих функций.

$$Z(X) = k_0 + \sum_{i=1}^n k_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n k_{ijk} x_{ijk} + \dots,$$

где $k_0, k_i, k_{ij}, k_{ijk}$ - коэффициенты полинома, x_i, x_j, x_k - первичные информативные признаки объекта диагностики, аргументы диагностирующей функции, $k_0 = 1$.

Определение коэффициентов полинома удобно реализовать решением системы условных уравнений, где каждое из уравнений представляет собой диагностирующую функцию (уравнения сопротивления рельсовой линии) при определенном значении сопротивления токопроводящих стыков выбранной траектории (выбранного ответвления) [6]. Данный подход аналогичен методу многомерной аппроксимации.

В работе использована следующая процедура определения коэффициентов диагностирующей функции. В нормальном режиме работы рельсовой цепи на входе и выходе рельсовой линии измеряются комплексные амплитуды напряжений и токов, т.е. $\dot{U}_1, \dot{I}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_2$. Эта информация используется в качестве аргумента уравнения вычисления сопротивления рельсовой линии,

$Z_{pli} = \sum_{i=1}^{\alpha} k_i f(\dot{U}_1, \dot{I}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_2)$, с помощью которой вычисляется фактическое

сопротивление рельсовой линии. В уравнении вычисления сопротивления рельсовой линии части определения коэффициентов k_i предварительно и однократно определяются следующим образом. Используя сформированное множество комплексных напряжений, токов по концам рельсовой линии $\dot{U}_{1i}, \dot{I}_{1i}, \dot{U}_{2i}, \dot{I}_{2i}$, $i=1,2,\dots,n$, а также соответствующие каждому измеренному значению сопротивления рельсовых линий Z_{pli} при различных сопротивлениях изоляции рельсовых линий от минимального до максимального значений, формируется матрица $m\{X_{ij}\}$:



$$\left. \begin{array}{l} \text{при } g_1 \left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_{11}, \dot{I}_{11}, \dot{U}_{21}, \dot{I}_{21} \in Z_{p11} \\ \dot{U}_{12}, \dot{I}_{12}, \dot{U}_{22}, \dot{I}_{22} \in Z_{p12} \\ \vdots \\ \dot{U}_{1n}, \dot{I}_{1n}, \dot{U}_{2n}, \dot{I}_{2n} \in Z_{p1n} \end{array} \right. \\ \text{при } g_2 \left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_{11}, \dot{I}_{11}, \dot{U}_{21}, \dot{I}_{21} \in Z_{p11} \\ \dot{U}_{12}, \dot{I}_{12}, \dot{U}_{22}, \dot{I}_{22} \in Z_{p12} \\ \vdots \\ \dot{U}_{1n}, \dot{I}_{1n}, \dot{U}_{2n}, \dot{I}_{2n} \in Z_{p1n} \end{array} \right. \\ \vdots \\ \text{при } g_m \left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_{11}, \dot{I}_{11}, \dot{U}_{21}, \dot{I}_{21} \in Z_{p11} \\ \dot{U}_{12}, \dot{I}_{12}, \dot{U}_{22}, \dot{I}_{22} \in Z_{p12} \\ \vdots \\ \dot{U}_{1n}, \dot{I}_{1n}, \dot{U}_{2n}, \dot{I}_{2n} \in Z_{p1n} \end{array} \right. \end{array} \right\}.$$

Используя матрицы измеренных значений первичных информативных признаков, составляются системы уравнений сопротивления рельсовой линии

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_{p11} = \sum_{i=1}^{\alpha} k_i f(\dot{U}_{11}, \dot{I}_{11}, \dot{U}_{21}, \dot{I}_{21}), \\ Z_{p12} = \sum_{i=1}^{\alpha} k_i f(\dot{U}_{12}, \dot{I}_{12}, \dot{U}_{22}, \dot{I}_{22}), \\ \vdots \\ Z_{p1m} = \sum_{i=1}^{\alpha} k_i f(\dot{U}_{1n}, \dot{I}_{1n}, \dot{U}_{2n}, \dot{I}_{2n}). \end{array} \right.$$

Так как система не квадратная $m \neq n$, она приводится к квадратному виду путем перемножения на транспонированную матрицу и решается известными методами. В результате решения получаются искомые коэффициенты $k_0 - k_\alpha$, которые и формируют уравнение сопротивления рельсовых линий, вида

$$Z_{p1i} = \sum_{i=1}^{\alpha} k_i f(\dot{U}_1, \dot{I}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_2).$$

Для диагностики сопротивлений ТПС стрелочно-путевых секций с двумя ответвлениями, являющихся элементами диагностики, необходимы 5 уравнений. С использованием программно математического пакета Mathcad, а также выше представленного алгоритма формирования уравнений вычислителя сопротивления рельсовой линии получены требуемые 5 уравнений. При этом в первом цикле диагностирования оцениваются сопротивления элементов РЛ1, РЛ3 (рис.2), во втором цикле - РЛ1, РЛ2 и РЛ4, а в третьем - РЛ1, РЛ2 и РЛ5.



Уравнения по критерию минимальной сложности упрощены путем последовательного исключения членов и проверки при каждой итерации величины относительной погрешности диагностирования (диагностирования величины сопротивления ТПС) $\delta_{z_i} \leq 10\%$. Формула относительной погрешности вычисления сопротивления ТПС уравнением $d(Z_i)$, имеет вид:

$$\delta(Z_i) = \left(\frac{d(Z_i) - Z_i}{Z_i} \right), \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где Z_i – нормативное сопротивление стыка;

$d(Z_i)$ – значение сопротивления, вычисленное уравнением минимальной сложности.

В таблице 1 представлены коэффициенты 5 уравнений и максимальные значения относительной погрешности вычисления сопротивления ТПС.

Анализ результатов исследований показывает, что максимальное относительной погрешности составляет $\delta(Z_{18}) = 3.39\%$, а минимальное $\delta(Z_{12}) = 3.365\%$.

Таблица 1

$K \backslash N_{\text{тпс}}$	1	2	3	4	5
K_1	-12.475	-20.299	-28.333	-38.293	-51.392
K_2	-0.165	-0.04	0.075	0.215	0.39
K_3	2.276	2.304	2.395	2.47	2.614
K_4	-186.706	-166.659	-153.289	-135.802	-119.112
K_5	-0.966	-1.037	-1.097	-1.168	-1.229
K_6	0.427	0.416	0.418	0.437	0.47
K_7	-0.068	-0.068	-0.069	-0.072	-0.078
K_8	6.609	6.194	6.006	5.902	5.979
K_9	0.03	0.03	0.03	0.031	0.032
K_{10}	$-2.261 \cdot 10^{-3}$	$-2.122 \cdot 10^{-3}$	$-2.062 \cdot 10^{-3}$	$-2.101 \cdot 10^{-3}$	$-2.259 \cdot 10^{-3}$
K_{11}	0.485	0.544	0.587	0.697	0.832
K_{12}	-0.021	-0.027	-0.032	-0.037	-0.042
K_{13}	0.024	0.022	0.021	0.021	0.021
K_{14}	0.885	1.644	2.305	2.977	3.587
K_{15}	-2.816	-2.666	-2.586	-2.591	-2.657
K_{16}	$-9.05 \cdot 10^{-3}$	$-8.748 \cdot 10^{-3}$	$-8.533 \cdot 10^{-3}$	$-8.551 \cdot 10^{-3}$	$-8.651 \cdot 10^{-3}$
%	3.471	3.403	3.39	3.365	3.366

Литература

1. 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.



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;