



### Выводы

В работе сформированная математическая модель передаточной функции рельсовой цепи как отношения комплексной амплитуды напряжения на выходе источника питания к комплексной амплитуде напряжения на входе классификатора позволяет анализировать влияние дестабилизирующих внешних факторов  $Z_o$ ,  $Z_n$ ,  $f_{uc}$ , первичных параметров рельсовой линии на информационный сигнал на входе классификатора  $\dot{U}$  и учитывать динамический диапазон изменения информативного сигнала датчика при синтезе многопараметральных классификаторов состояний рельсовых линий.

### Литература

1. Аркатов, В.С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание / В.С. Аркатов, Ю.А. Кравцов, Б.М. Степенский. – М. : Транспорт, 1990. 295 с.
2. Тарасов, Е.М. Анализ дестабилизирующих воздействий на рельсовые линии и принцип обеспечения инвариантности классификатора [Текст] / Е.М. Тарасов, А.С. Белоногов // Вестник СамГУПС. – 2013. – № 4 (22). – С. 60-65.
3. 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.
4. Брылеев, А.М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей [Текст] / А.М. Брылеев, Ю.А. Кравцов, А.В. Шишляков. – Москва : Транспорт, 1978. – 344 с.
5. Железнов, Д.В. Возмущающие воздействия на рельсовые линии и их компенсация принципами инвариантности / Д.В. Железнов, Е.М. Тарасов, В.Л. Герус, А.Е. Тарасова // Транспорт, наука, образование в XXI веке: опыт, перспективы, инновации : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. – 2017. – С. 25-29.

А.Е. Тарасова

## РАЗРАБОТКА ИНВАРИАНТНОГО АЛГОРИТМА КЛАССИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЙ РЕЛЬСОВЫХ ЛИНИЙ УЧАСТКОВ ПРИБЛИЖЕНИЯ К ПЕРЕЕЗДАМ

(Самарский государственный университет путей сообщения)

### Введение

Выходной сигнал рельсовой линии – комплексная амплитуда  $U_2 e^{j\varphi} U_2$  – подвержен влиянию дестабилизирующих факторов, связанных с изменением в широких пределах междурельсовой проводимости  $g_0$  (См/км), полного сопро-



тивления рельсовой линии  $Z_{PL} e^{j\varphi Z_{PL}}$ , сопротивления ограничителя тока  $Z_o$  и согласования аппаратуры питания с входным сопротивлением рельсовой линии, а также сопротивления нагрузки  $Z_n$  [1, 2]. Также на устойчивую классификацию состояний рельсовых линий оказывают влияние внешние воздействия в виде полного сопротивления изолирующих стыков  $Z_{uc}$ , сопротивления рельсов относительно земляного тракта  $Z_{ac}$ , вызванного асимметрией сопротивлений заземления рельс на опоры контактной сети, металлических конструкций мостовых сооружений и т.д. Множество сопротивлений, проводимостей, между-рельсовых емкостей и индуктивностей рельсовых линий:

$$m_2 = \{Z_{PL} = f(L_0, r_0); g_0, C_0, Z_n, Z_{uc}, Z_o, Z_{ac}\} \quad (1)$$

составляет алфавит дестабилизирующих факторов, вносящих возмущения в устойчивую классификацию состояний рельсовых линий и проводящих к появлению ошибок I и II рода.

Из-за того, что ошибки I и II рода при классификации состояний рельсовых линий недопустимы по условиям безопасности движения [3], становится актуальной задача разработки инвариантного алгоритма классификации состояний рельсовых линий.

### Материалы и методы

Наиболее широко в настоящее время используются два вида обеспечения инвариантности выходного сигнала объекта к дестабилизирующим воздействиям, а именно: обеспечение координатной инвариантности и принцип многоканальности. Первый подход предполагает наличие возможности измерения дестабилизирующих параметров и их координатной компенсации [4].

Наиболее удачно применение первого подхода к обеспечению инвариантности информативных параметров – признаков, характеризующих состояние рельсовых линий участков приближения к переезду и позволяющих определять координату приближающегося поезда. В данном применении максимальным дестабилизирующим параметром является проводимость изоляции участка переезда  $g_n$ , которую из-за ограниченной длины рельсовой линии  $l_n$  можно считать сосредоточенным координатным воздействием. Структурная схема рельсовой линии участка приближения к переезду представлена на рис. 1.

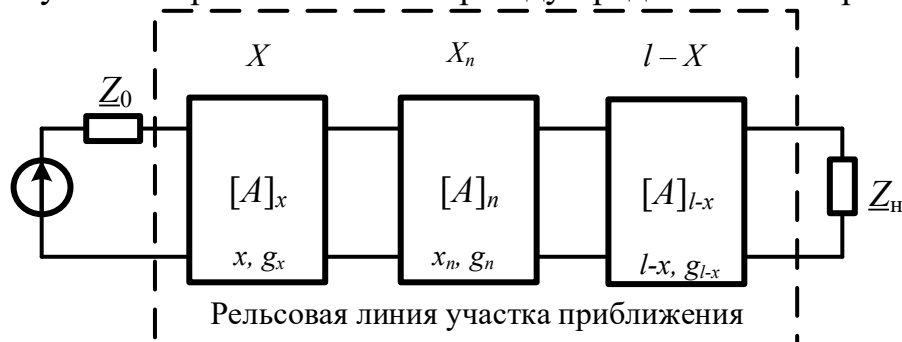


Рис. 1. Декомпозиция структурной схемы участка приближения к переезду:

$X$  – расстояние от источника питания до переезда;  $X_n$  – длина переезда;

$(l - X)$  – расстояние от переезда до нагрузки РЛ



Если участок приближения к переезду РЛ УП имеет длину около 1500 м, то длина четырехполюсника рельсовой линии переезда составляет всего 10 м, на котором проводимость изоляции от 10 до 100 раз выше, чем  $g_x$  и на  $g_{(l-x)}$ ,  $g_n \gg g_x$  [5].

Структурная схема воздействия в виде проводимости изоляции на датчик классификатора состояний рельсовых линий участка приближения имеет вид:

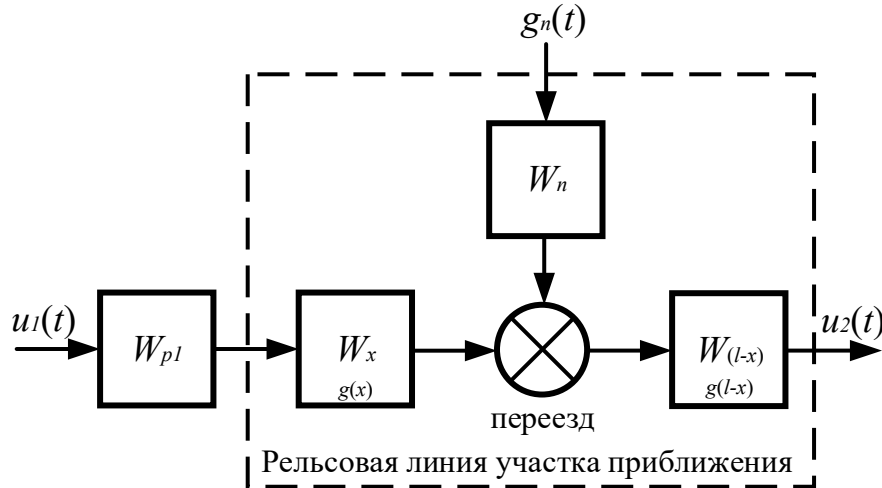


Рис. 2. Структурная схема воздействия возмущения на рельсовую линию переезда

Дифференциальное уравнение системы имеет вид

$$u_2(t) = W_{p2}(D)W_{(l-x)}(D)W_n(D)g_n(t) + W_{p1}(D)W_x(D)W_{(l-x)}(D)u_1(t), \quad (2)$$

где  $D$  – оператор дифференцирования;

$W_x(D), W_n(D), W_{(l-x)}(D)$  – операторы компонент рельсовой линии, а именно:

$W_x(D)$  – передаточная функция по напряжению участка рельсовой линии от источника до переезда;

$W_n(D)$  – передаточная функция по напряжению участка переезда;

$W_{(l-x)}(D)$  – передаточная функция по напряжению участка рельсовой линии от переезда до конца рельсовой линии.

Компенсировать возмущения в виде проводимости изоляции переезда, расположенного на расстоянии  $x$  (км) от источника питания, затруднительно, поэтому возможно перенести без потери информативности координату воздействия возмущения в начало рельсовой линии путем организации дополнительного звена и операции суммирования. Тогда, если на участке переезда из-за высокой проводимости происходит снижение сигнала опроса рельсовой линии, то на входе в рельсовую линию происходит приращение сигнала по модулю, равному снижению на участке переезда, т.е. происходит компенсация, и тем самым обеспечивается инвариантность к изменению проводимости изоляции на участке переезда.

Структурная схема инвариантного классификатора с координатной компенсацией представлена на рис. 3.

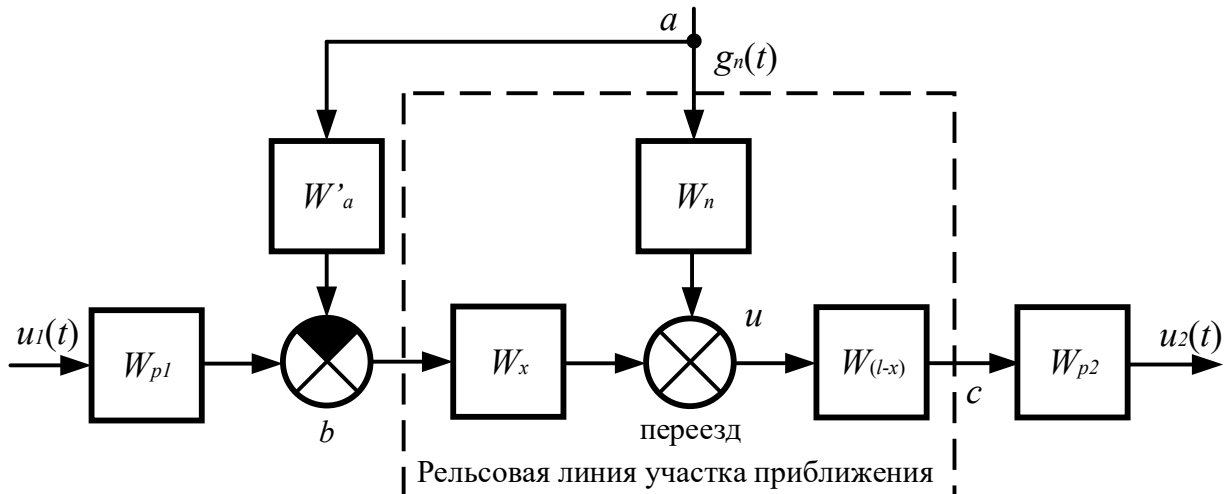


Рис. 3. Структурная схема инвариантного классификатора с координатной компенсацией

Дифференциальное уравнение классификатора, представленного на рис. 3, имеет вид:

$$u_2(t) = W_{p2}(D)W_{o2}(D)[W_n(D) - W'_n(D)W_x(D)]g_n(t) + W_{p1}(D)W_x(D)W_{(l-x)}(D)W_{p2}(D)u_1(t). \quad (3)$$

Для обеспечения инвариантности согласно уравнению (3), необходимо выполнение условия равенства нулю составляющей:

$$W_{au}(D) = W_n(D) - W'_n(D)W_x(D) = 0, \quad (4)$$

где  $W_{au}(D)$  – дифференциальная передаточная функция на участке  $a_u$ .

Для осуществления равенства нулю (4) необходимо иметь 2 канала передачи возмущения, а именно: канала  $W_n(D)$  и  $W'_n(D)W_x(D)$ , и обеспечить равенство передаточных функций каналов. Если канал передачи возмущения  $g(t)$  через звено  $W_n(D)$  является естественным, то второй канал передачи  $g(t) - W'_n(D)W_x(D)$  является искусственным.

Техническая реализация искусственного канала может быть осуществлена путем измерения  $Z_{ex}(t)$  рельсового четырехполюсника в начале рельсовой линии на повышенной частоте, когда  $Z_{ex}(t) \approx g(t)$ , и путем воздействия на сигнал опроса рельсовой линии  $u_1(t)$  с обратным знаком. Тогда на входе рельсовой линии будет обеспечен уровень сигнала  $u_1(t) + \Delta u_1(t)$ , где  $\Delta u_1(t)$  – составляющая приращения напряжения, изменяющаяся по закону изменения  $g(t)$ , а в координате  $u$  происходит снижение сигнала опроса примерно на величину  $-\Delta u_1(t)$ , и этим самым обеспечивается компенсация воздействия  $g_n(t)$  на сигнал опроса рельсовой линии.

### Выводы

В настоящее время в связи с увеличением веса и скоростей поездов увеличилось множество дестабилизирующих воздействий на рельсовые линии участков приближения к переезду. Наиболее существенный вклад во флуктуацию сигнала опроса рельсовых линий вносит изменение в широком диапазоне



проводимости изоляции рельсовых линий  $g_n(t)$  из-за засорения настила переезда сыпучими грузами. Предложенный в работе принцип компенсации изменения сигнала опроса датчика – рельсовой линии – позволяет обеспечить инвариантность сигнала опроса рельсовой линии к изменению проводимости изоляции рельсовой линии в широком диапазоне.

### 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. Патент № 2281219. Способ управления автоматической переездной сигнализацией / Е.М. Тарасов. – Заявл. 14.02.2005. Оpubл. БИ 10.08.2006.
3. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утв. Министерством транспорта РФ 21.12.2010 г. № 286.
4. Самонастраивающиеся системы. Справочник / под общей ред. П.И. Чинаева. – Киев : Наукова думка, 1969. – 530 с.
5. 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.

А.Е. Угарин, М.В. Додонов

### МОБИЛЬНЫЕ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ (Самарский университет)

Системы железнодорожной автоматики и телемеханики имеют важную роль в организации качественной, бесперебойной и безопасной работы железнодорожного транспорта. В существующих системах железнодорожной автоматики и телемеханики одним из основных элементов являются датчики оперативной и достоверной информации о состоянии путевой инфраструктуры и подвижном составе, которые могут строиться на разных принципах [1]. В настоящее время такие датчики часто устанавливаются стационарно.

С развитием высокоскоростного движения поездов все более ужесточаются требования к объектам и устройствам инфраструктуры железнодорожного транспорта. Поэтому становится актуальным вопрос мобильных решений в области контроля занятости путевой инфраструктуры, мониторинга текущего состояния различных систем и автоматизации этих решений [2].

Задачами данной работы является разработка комплексной надежной контрольно-измерительной системы, с целью диагностики и мониторинга технического состояния вагонных составов, позволяющей своевременно выявлять