

На правах рукописи



МОИСЕЕВ Евгений Геннадьевич

**САМОНАСТРАИВАЮЩЕЕСЯ УСТРОЙСТВО
КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЙ РЕЛЬСОВЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕЕЗДНОЙ СИГНАЛИЗАЦИЕЙ**

Специальность 05.13.05 - Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа – 2011

Работа выполнена в Самарской академии государственного и муниципального управления на кафедре Математических методов и информационных технологий.

Научный
руководитель:

доктор технических наук, профессор
Тарасов Евгений Михайлович,
Самарская академия государственного
и муниципального управления

Официальные
оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Ураксеев Марат Абдуллович,
кафедра Информационно-измерительной
техники Уфимского государственного
авиационного технического университета

кандидат технических наук, доцент
Лунев Сергей Александрович,
кафедра Автоматики и телемеханики
Омского государственного
университета путей сообщения

Ведущая организация: ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения».

Защита состоится «__» _____ 2011 года в __ часов на заседании диссертационного совета Д 212.288.02 при Уфимском государственном авиационном техническом университете по адресу:

450000, г. Уфа, ул. Карла Маркса, д. 12, корпус __, _____

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан «__» _____ 2011 года.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять в диссертационный совет Д 212.288.02 по адресу: 450000, Уфа-центр, ул. Карла Маркса, д. 12, УГАТУ.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



В.С. Фетисов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Потребности народного хозяйства обуславливают необходимость увеличения пропускной способности железных дорог, что повышает требования к надежной и эффективной работе систем автоматической переездной сигнализации, особенно к устройствам контроля состояний рельсовых линий (УКСРЛ) – первичных датчиков информации. Особое значение эта проблема приобретает в настоящее время, когда на сети железных дорог повышаются скорости движения пассажирских поездов до 300-350 км/ч и веса грузовых поездов до 6000-9000 тыс. тонн, когда каждая лишняя остановка сопровождается экономическими потерями, а значительное увеличение тормозного пути, вследствие повышения скорости и веса поездов, может привести к нарушению выполнения условий безопасности движения поездов при неизменности длины участков приближения. УКСРЛ является основным техническим устройством, обеспечивающим безопасность движения поездов, в его функции входят фиксация наличия подвижной единицы на участке приближения, осуществление контроля целостности рельсовой линии, телемеханического канала связи и некоторые другие.

Рельсовые линии участков приближения используются в качестве чувствительного элемента первичного датчика УКСРЛ, изоляционные свойства которых зависят от состояния изоляции рельса от шпал, сопротивления шпалы и балластного материала верхнего строения пути. Несмотря на то, что нормативное сопротивление изоляции рельсовых линий низкое 1 Ом·км, на участках железных дорог с переездами оно еще ниже из-за неудовлетворительного состояния переездного настила, постоянного засорения и загрязнения проезжей части автодорог переездов и невозможности интенсивного испарения влаги под настилами.

По сравнению с другими устройствами железнодорожной автоматики и телемеханики УКСРЛ имеют значительный поток отказов, которые приводят к нарушению функционирования системы автоматической переездной сигнализации. Так, в 2009 году 14,9% отказов из общего количества нарушений работы устройств автоматики и телемеханики, составили отказы УКСРЛ.

Значительный вклад в решение проблем устройств контроля состояний рельсовых линий и совершенствование алгоритмов функционирования автоматической переездной сигнализации внесли ученые Брылеев А.М., Дмитренко И.Е., Лисенков В.М., Кравцов Ю.А., Бестемьянов П.Ф., Беляков И.В., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Алексеев В.М., Тарасов Е.М., Годяев А.И., Лунев С.А., Степенский Б.М., Мохонько В.П. и др.

Вместе с тем, проблема обеспечения устойчивой работы УКСРЛ участков приближения остается нерешенной из-за того, что при проектировании

сопротивление изоляции рельсовых линий участка приближения принимается равномерно-распределенной, несмотря на то, что наличие переезда на участке приближения приводит к появлению локальной неоднородности, что изменяет схему замещения рельсовой линии. Значительное увеличение длин участков приближения на скоростных участках железных дорог приводит к неустойчивой работе существующих УКСРЛ.

Поэтому использование устройств контроля состояний рельсовых линий, построенных по традиционной схеме, на участках приближения к переездам не обеспечивает требуемую работоспособность из-за изменения сопротивления изоляции рельсовых линий в широком диапазоне.

Таким образом, до настоящего времени не созданы устройства контроля состояний рельсовых линий участков приближения, надежно функционирующие в условиях изменения сопротивления изоляции в широком диапазоне. Поэтому создание самонастраивающегося устройства контроля состояний рельсовых линий, нечувствительного к изменению сопротивления изоляции в широком диапазоне, для систем автоматической переездной сигнализации является актуальной научно-технической задачей.

Цель работы и основные задачи исследования. Целью работы является разработка и исследование самонастраивающегося устройства контроля состояний рельсовых линий участков приближения, нечувствительного к изменению сопротивления изоляции в широком диапазоне, для систем управления автоматической переездной сигнализацией.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ современного состояния проблемы создания устройства контроля состояний рельсовых линий участков приближения, функционирующего в условиях изменения сопротивления изоляции в широком диапазоне;

- разработать математические модели рельсовых цепей участков приближения с целью исследования областей существования напряжений и токов на входе и выходе рельсовых цепей;

- разработать принцип обеспечения нечувствительности выходного напряжения устройства контроля состояний рельсовых линий на основе методов самонастройки к координатным возмущениям;

- разработать методику исследования влияния дестабилизирующих факторов на качество функционирования разработанного устройства контроля состояний рельсовых линий;

- технически реализовать разработанное самонастраивающееся устройство контроля состояний рельсовых линий участков приближения, нечувствительное к изменению сопротивления изоляции рельсовых линий переездов.

Методы исследования. Теоретические исследования выполнены с использованием аппарата теории электрических цепей, самонастраивающихся систем, теории чувствительности и матричных методов анализа. Для получения основных количественных соотношений при анализе самонастраивающегося устройства применены численные методы решения, математическое моделирование на ЭВМ и экспериментальные исследования на реальных объектах. Параллельно с моделированием самонастраивающегося устройства контроля проводилась его разработка, экспериментальная проверка.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: соответствием теоретических исследований и расчетов, математического моделирования, экспериментальных исследований в полевых условиях; практикой и опытом эксплуатации устройства, созданного на основе разработанных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработаны универсальные математические модели рельсовых цепей участков приближения к переезду, позволяющие анализировать картину изменения напряжений, токов и их фазовые соотношения на произвольной координате рельсовой линии. Модели, в отличие от существующих, представлены в виде каскадного соединения четырехполюсников с матрицами $[A]$ – параметров, и кусочно-однородными рельсовыми линиями с различными первичными параметрами.

2. Впервые предложено новое уравнение для выходного напряжения рельсовой линии основного канала, учитывающее влияние сопротивления изоляции рельсовых линий переезда, позволяющее обеспечить инвариантность выходного напряжения участка контроля к возмущающим воздействиям посредством взаимосвязи выходного напряжения с величиной сопротивления изоляции рельсовых линий переезда и напряжения компенсирующего источника питания.

3. Разработана методика исследования параметрической чувствительности внешних характеристик разработанного устройства к изменению параметров элементов схемы, отличающаяся от известных тем, что позволяет исследовать чувствительность динамического диапазона изменения выходного напряжения.

4. Разработан оригинальный алгоритм классификации состояний рельсовых линий участков приближения к переезду с помощью решающих функций априорно определенными границами трех классов состояний: исправное, занятое и неисправное.

Основные положения работы, выдвигаемые на защиту:

1. Универсальные математические модели рельсовых цепей участков приближения к переезду в виде каскадного соединения четырехполюсников с

матрицами [A] – параметров, и кусочно-однородными рельсовыми линиями с различными первичными параметрами позволяют проанализировать токи и напряжения и их фазовые соотношения на произвольной координате рельсовой линии, определить области их существования в зависимости от изменения сопротивления изоляции рельсовых линий, координат нахождения поезда и обрыва рельсовых линий. С помощью моделей установлено, что динамический диапазон изменения напряжения на выходе рельсовой линии при наличии переезда, в отличие от существующих, составляет $K_{dU_2} = 6,81$.

2. Полученное новое уравнение для выходного напряжения рельсовой линии основного канала, учитывающее влияние сопротивления изоляции рельсовых линий переезда и компенсирующее влияние изменения сопротивления изоляции принципами самонастройки источника сигнала опроса рельсовых линий, позволило уменьшить диапазон изменения выходного напряжения в 4,54 раза.

3. Предложенная структурная схема самонастраивающегося устройства контроля состояний рельсовых линий участков приближения частотным разделением основного и дополнительного канала позволила реализовать устройство с инвариантными свойствами к изменению сопротивления изоляции в пределах от 0,1 до 50 Ом·км, при нормативном пределе от 1 до 50 Ом·км, и стабилизировать выходное напряжение ($\Delta U_{\text{вых}} = \pm 0,213 \text{ В}$).

4. Методика исследования параметрической чувствительности внешних характеристик устройства к изменению параметров схемы позволила выявить элементы, наиболее сильно влияющие на выходное напряжение, и сформировать требования по точности подбора номиналов элементов. Установлено, что схема наиболее чувствительна к изменению величины ограничительного сопротивления в сторону уменьшения, и реализовать ее необходимо 10% точностью (при 15% реализации остальных элементов), что не приведет к ухудшению инвариантных свойств разработанного устройства.

5. Разработанный оригинальный алгоритм классификации состояний рельсовых линий участков приближения к переезду позволил с помощью решающих функций расширить перечень классов состояний рельсовых линий, а именно, к классам исправного и занятого добавить класс неисправного состояний.

Практическая ценность работы. По результатам проведенных теоретических исследований разработано самонастраивающееся устройство контроля состояний рельсовых линий для систем управления автоматической переездной сигнализацией, позволяющее:

- добиться относительной нечувствительности выходного напряжения рельсовой линии к изменению сопротивления изоляции рельсовых линий переезда (Патент № 2391241);

- увеличить длину участков приближения по требованиям обеспечения безопасности перевозочного процесса на скоростных участках железных дорог;

- расширить диапазон правильной классификации состояний рельсовых линий участков приближения к переезду в условиях изменения сопротивления изоляции в широком диапазоне.

Разработанный пакет прикладных программ анализа функционирования существующих устройств контроля состояний рельсовых линий позволяет:

- определить диапазоны изменения напряжений на выходе рельсовой линии участков приближения в зависимости от изменения сопротивления изоляции и координат нахождения поезда и обрыва рельсовой линии;

- исследовать изменение токов и напряжений в любой точке схемы устройства контроля состояний рельсовых линий.

Реализация результатов работы. Разработанное самонастраивающееся устройство контроля состояний рельсовых участков приближения внедрено в существующую автоматическую переездную сигнализацию на Калининградской железной дороге.

Пакет прикладных программ исследований напряжений на выходе рельсовых линий использован в комплексе автоматизированного проектирования систем автоматической переездной сигнализации при определении длины участка приближения и координат изолирующих стыков на вновь проектируемом переезде.

Результаты работы используются в Самарском государственном университете путей сообщения при выполнении лабораторных работ и чтении лекций по дисциплинам «Микроэлектронные системы интервального регулирования движения поездов», «Математическое моделирование систем и процессов» и «Электропитание устройств ж-д. АТС».

Апробация работы. Основные положения и результаты научных исследований диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских и региональных научно-практических конференциях: Четвертой Всероссийской конференции «Город и городское хозяйство» (Самара, 2008); Межвузовской научно-практической конференции «Математическое моделирование, численные методы и информационные технологии» (Самара, 2009); III Всероссийской научно-практической конференции «Наука и образование транспорту» (Пенза, 2010); XI научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» (Москва, 2010); Международной конференции «Инновации для транспорта» (Омск, 2010), а также на заседаниях научно-технических семинаров кафедры автоматизации, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте

СамГУПС и кафедры математических методов и информационных технологий САГМУ в течение 2008-2010 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 4 - в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки России для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций, получен один патент Российской Федерации.

Структура и объем работы. Диссертационное исследование состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Материалы диссертации изложены на 126 страницах основного текста, содержат 45 иллюстраций, 4 таблицы, 6 приложений. Библиографический список включает в себя 84 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, приведены основные результаты, полученные в диссертации и выносимые на защиту.

В первой главе дан анализ основных направлений работоспособности устройств контроля состояний рельсовых линий участков приближения к переездам, оборудованным автоматической переездной сигнализацией.

Современные устройства оповещения и управления устройствами ограждения переездов базируются на информации рельсовых цепей, являющихся устройствами контроля состояний рельсовых линий участков приближения к переездам. С информационной позиции рельсовые линии являются чувствительным элементом первичного датчика местоположения поезда.

Работоспособность УКСРЛ определяется диапазоном удельного сопротивления изоляции рельсовой линии, в котором обеспечивается правильное функционирование.

Сопротивление изоляции рельсовых линий может резко отличаться на разных участках, даже в пределах одного перегона или участка приближения в зависимости от вида и состояния верхнего строения пути, типа и качества шпал, климатических факторов, наличия перевозимых сыпучих токопроводящих грузов. Фактическая средняя интенсивность отказов рельсовых цепей на сети дорог из-за сопротивления изоляции находится в настоящее время в пределах $5,0 \div 1,5 \cdot 10^{-6}$ (1/ч).

Количество отказов устройств автоматики и телемеханики в 2009 году допущено по станционным устройствам 55,5%, по перегонным – 40,4% отказов. При этом 80% отказов устройств автоматики и телемеханики приходится на монтаж устройств, элементы рельсовых цепей, релейно-

бесконтактную аппаратуру, стрелочные электроприводы и кабельные и воздушные линии, в том числе 14,9% отказов автоматики и телемеханики – на элементы рельсовых цепей: нарушение изоляции изолирующего стыка (25%); обрыв или плохой контакт соединителей (29,7%); **понижение сопротивления изоляции (13%)**; закорачивание рельсовых цепей посторонними предметами (18,7%) и др.

В диссертационной работе автором предложено решить проблему повышения работоспособности УКСРЛ, в условиях пониженного сопротивления изоляции, принципами самонастройки, заключающийся в том, что в схему УКСРЛ, непосредственно после переезда, к рельсовым линиям подключается источник дополнительного сигнала $\Gamma_2(f_2)$ с частотой f_2 , отличной от частоты основного сигнала $\Gamma_1(f_1)$.

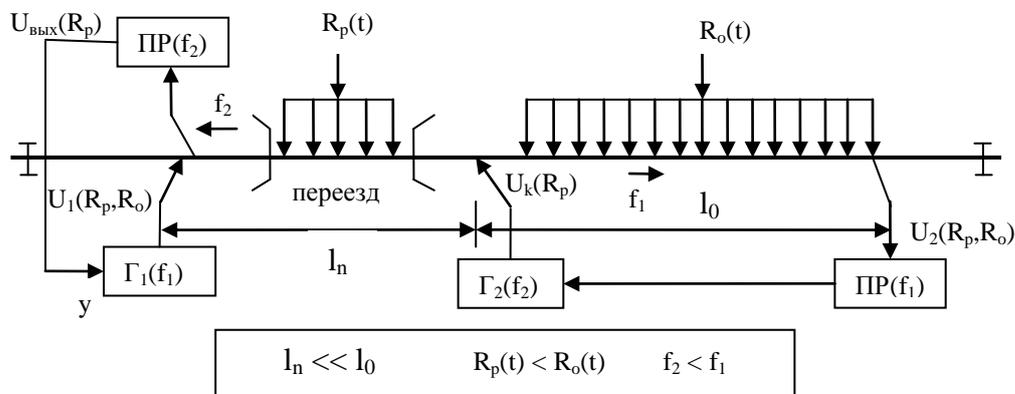


Рисунок 1 – Функциональная схема самонастраивающегося устройства контроля состояний рельсовых линий

Приемник дополнительного сигнала $\text{ПР}(f_2)$, расположенный у источника питания рельсовой цепи $\Gamma_1(f_1)$, выделяет напряжение частоты дополнительного сигнала, инвертирует по уровню и суммирует с напряжением основного сигнала. В итоге, в рельсовую линию участка приближения подается суммарное напряжение: напряжение постоянного уровня основного источника питания и напряжение переменного уровня, зависящее от величины сопротивления изоляции переезда $R_p(t)$. При уменьшении сопротивления изоляции уровень напряжения на входе приемника $\text{ПР}(f_2)$ уменьшается, а на его выходе - $U_{\text{вых}}(R_p)$ увеличивается обратно пропорционально входному напряжению. С учетом того, что с уменьшением сопротивления изоляции уменьшается коэффициент передачи основного сигнала по рельсовой линии, но увеличивается величина питающего напряжения $U_1(R_p, R_o)$ из-за вольтдобавки дополнительного сигнала, обеспечивается постоянство уровня напряжения $U_2(R_p, R_o)$ на входе приемника $\text{ПР}(f_1)$.

При вступлении поезда на участок приближения приемник ПР(f_1) обесточивается и выключает источник дополнительного сигнала $\Gamma_2(f_2)$, тем самым улучшается выполнение шунтового режима. Контрольный режим выполняется аналогично шунтовому режиму, а именно: при обрыве рельсовой линии приемник ПР(f_1) обесточивается и, как в шунтовом режиме, выключается источник дополнительного сигнала $\Gamma_2(f_2)$, соответственно, уменьшается величина напряжения, подаваемого на вход рельсовой линии.

Вторая глава диссертационной работы посвящена разработке математических моделей рельсовых цепей участков приближения. Обосновано применение схемы замещения рельсовых цепей участка приближения с кусочно-однородной схемой замещения рельсовых линий.

Наличие на рельсовой линии участка приближения переезда приводит к появлению зоны с повышенной проводимостью изоляции (на участке примерно 1,5% от длины участка приближения). С учетом этого, схема замещения рельсовых линий УКСРЛ в нормальном режиме состоит из каскадного соединения двух рельсовых четырехполюсников (рис. 2), а именно:

- рельсового четырехполюсника (РЧПР), замещающего участок рельсовой линии переезда с коэффициентами $[A_p]$, длиной l_p и диапазоном изменения проводимости изоляции $R_{maxp} \geq R_p \geq R_{minp}$;

- рельсового четырехполюсника (РЧПО), замещающего рельсовую линию от переезда до приемника рельсовой цепи с коэффициентами $[A_o]$, длиной l_o и диапазоном изменения проводимости изоляции $R_{max0} \geq R_0 \geq R_{min0}$.

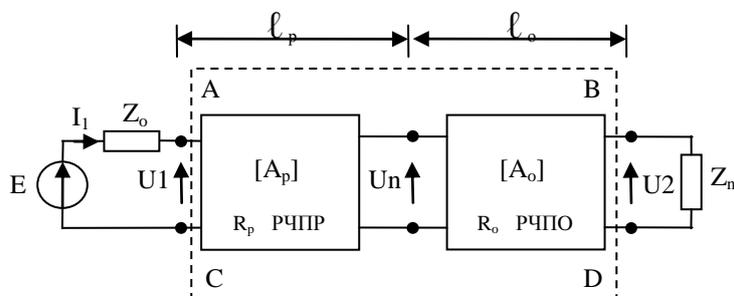


Рисунок 2 – Предложенная схема замещения рельсовой цепи участка приближения

С учетом направлений токов и напряжений, представленных на рисунке 2 математические модели УКСРЛ участков приближения получаются с использованием уравнений состояний рельсовых линий и коэффициентов матриц $[A]$ параметров рельсовых четырехполюсников, в виде:

$$U_2 = E \cdot \frac{Z_n}{M \cdot Z_n + N \cdot Z_0 + Q \cdot Z_n + P}, \quad (1)$$

$$I_1 = E \cdot \frac{\left(\frac{1}{Z_{vp}} \operatorname{sh} \gamma_p \cdot l_p \cdot \operatorname{ch} \gamma_0 \cdot l_0 + \operatorname{ch} \gamma_p \cdot l_p \cdot \frac{1}{Z_{v0}} \cdot \operatorname{sh} \gamma_0 \cdot l_0 \right) \cdot Z_n +}{M \cdot Z_n + N \cdot Z_0 + Q \cdot Z_n + P} +$$

$$+ \frac{\left(\frac{1}{Z_{vp}} \operatorname{sh} \gamma_p \cdot l_p \cdot Z_{v0} \cdot \operatorname{sh} \gamma_0 \cdot l_0 + \operatorname{ch} \gamma_p \cdot l_p \cdot \operatorname{ch} \gamma_0 \cdot l_0 \right)}{M \cdot Z_n + N \cdot Z_0 + Q \cdot Z_n + P}, \quad (2)$$

$$U_1 = E \cdot \frac{\left(\operatorname{ch} \gamma_p \cdot l_p \cdot \operatorname{ch} \gamma_0 \cdot l_0 + Z_{vp} \cdot \operatorname{sh} \gamma_p \cdot l_p \cdot \frac{1}{Z_{v0}} \cdot \operatorname{sh} \gamma_0 \cdot l_0 \right) \cdot Z_n +}{M \cdot Z_n + N \cdot Z_0 + Q \cdot Z_n + P} +$$

$$+ \frac{\left(\operatorname{ch} \gamma_p \cdot l_p \cdot Z_{v0} \cdot \operatorname{sh} \gamma_0 \cdot l_0 + Z_{vp} \cdot \operatorname{sh} \gamma_p \cdot l_p \cdot \operatorname{ch} \gamma_0 \cdot l_0 \right)}{M \cdot Z_n + N \cdot Z_0 + Q \cdot Z_n + P}, \quad (3)$$

где

$$M = \left(\frac{1}{Z_{vp}} \operatorname{sh} \gamma_p \cdot l_p \cdot \operatorname{ch} \gamma_0 \cdot l_0 + \operatorname{ch} \gamma_p \cdot l_p \cdot \frac{1}{Z_{v0}} \cdot \operatorname{sh} \gamma_0 \cdot l_0 \right),$$

$$N = \left(\frac{1}{Z_{vp}} \operatorname{sh} \gamma_p \cdot l_p \cdot Z_{v0} \cdot \operatorname{sh} \gamma_0 \cdot l_0 + \operatorname{ch} \gamma_p \cdot l_p \cdot \operatorname{ch} \gamma_0 \cdot l_0 \right),$$

$$Q = \left(\operatorname{ch} \gamma_p \cdot l_p \cdot \operatorname{ch} \gamma_0 \cdot l_0 + Z_{vp} \cdot \operatorname{sh} \gamma_p \cdot l_p \cdot \frac{1}{Z_{v0}} \cdot \operatorname{sh} \gamma_0 \cdot l_0 \right),$$

$$P = \left(\operatorname{ch} \gamma_p \cdot l_p \cdot Z_{v0} \cdot \operatorname{sh} \gamma_0 \cdot l_0 + Z_{vp} \cdot \operatorname{sh} \gamma_p \cdot l_p \cdot \operatorname{ch} \gamma_0 \cdot l_0 \right).$$

Математические модели являются универсальными, т.к. во всех режимах-состояниях рельсовой линии входящие в них [А] параметры приводятся к обобщенному виду и, подставив их в (1-3), можно определить области существования напряжений и токов на входе и выходе рельсовых линий участка приближения к переезду.

С использованием математических моделей в работе проведен вычислительный эксперимент для двух видов схемы замещения рельсовых цепей участка приближения, а именно:

- схема замещения одним четырехполюсником с равномерно распределенными параметрами рельсовых линий (традиционная схема);
- схема замещения двумя четырехполюсниками, представляющими участки рельсовой линии переезда и от переезда до приемника рельсовой цепи (предложенная автором схема).

Исследования, проведенные с использованием математических моделей, показали, что выходные параметры рельсовых цепей сильно зависят от вида схемы замещения.

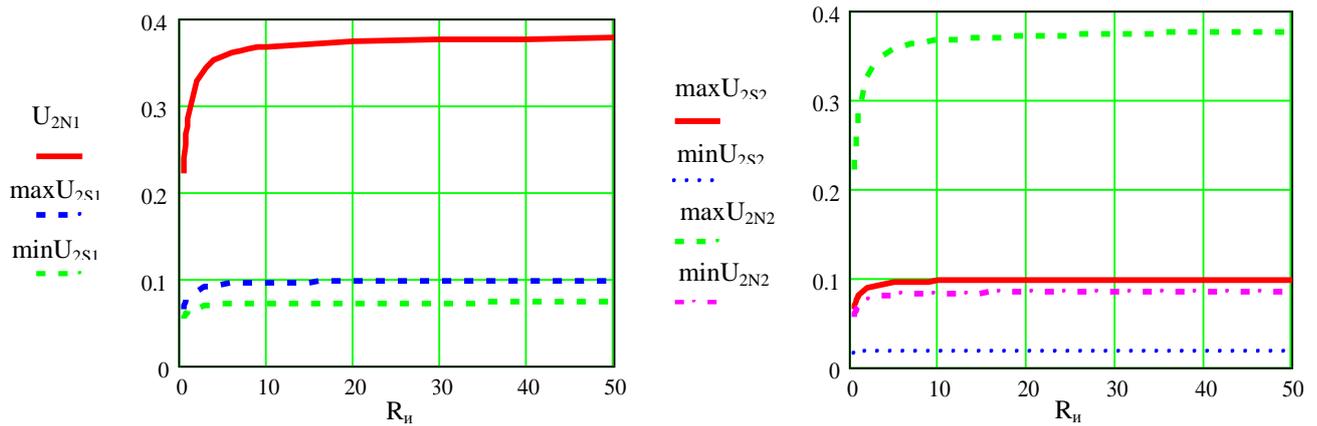


Рисунок 3 – Графики изменения напряжения на выходе рельсовой линии участка приближения (индексы указывают на вид схемы замещения)

При схеме замещения с одним четырехполюсником диапазон изменения выходного напряжения составляет $0,376 \geq U_{2N1} \geq 0,22\text{В}$, и динамический диапазон составляет 1,709. В шунтовом режиме $0,097 \geq U_{2S1} \geq 0,052\text{В}$, а коэффициент $K_s = 2,3$.

При использовании второй схемы замещения с двумя четырехполюсниками динамический диапазон в нормальном режиме существенно шире $K_d = 6,81$ и $0,375 \geq U_{2N2} \geq 0,055\text{В}$, а в шунтовом режиме $0,098 \geq U_{2S2} \geq 0,014\text{В}$, что указывает на перекрытие шунтового и нормального режимов. Поэтому при анализе и синтезе устройств контроля состояний рельсовых линий участков приближения необходимо использовать схему замещения с двумя четырехполюсниками, что адекватно реальному состоянию.

В главе 3 разработано инвариантное по отношению к координатным возмущениям самонастраивающееся за счет внешнего компенсирующего воздействия устройство контроля состояний рельсовых линий участков приближения систем управления автоматической переездной сигнализацией.

Добиться инвариантности к возмущающим воздействиям на переездные рельсовые линии возможно введением компаундирующего звена на питающем конце рельсовой цепи участка приближения (рис. 4), законом регулирования, обратно пропорциональным изменению возмущающего воздействия.

В таком случае возможно обеспечение инвариантности к изменению сопротивления изоляции $R_p(t)$, когда

$$R_p(t) \neq 0; \quad W_{PRp}(p) \neq 0 \quad \text{и} \quad W_{PRp} \times R_p(t) \neq 0. \quad (4)$$

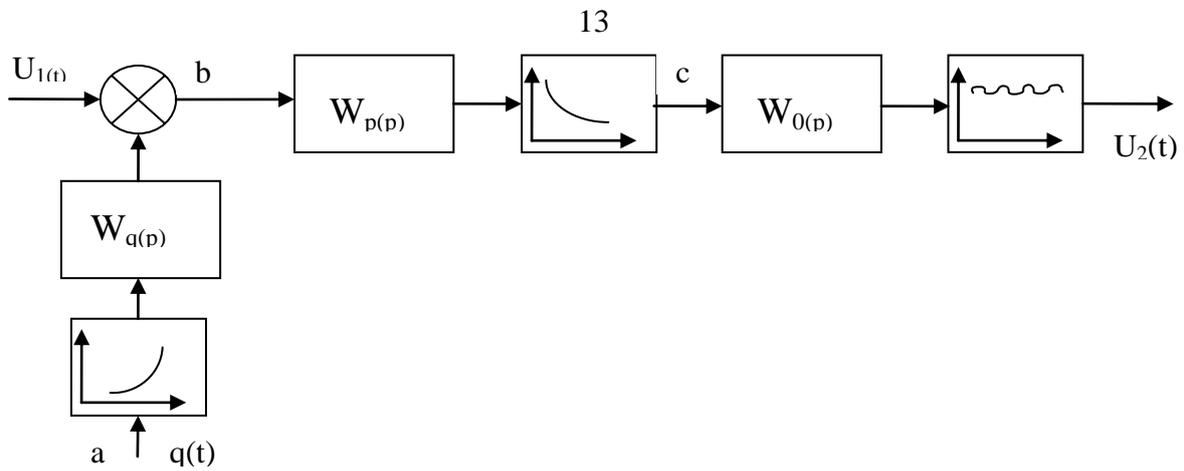


Рисунок 4 – Функциональная схема самонастраивающейся системы с компенсирующим звеном на входе

Для того, чтобы при $W_{PRp}(p) \times R_p(t) \neq 0$ не иметь отклонения выходного информативного сигнала $U_2(t)$, необходимо ввести внешнее компенсирующее воздействие на систему $q(t)$, влияние которого обратно влиянию возмущения $R_p(t)$:

$$\Delta U_2(t) = W_{PRp}(p) \times R_p(t) - W_q(p) \times q(t) = 0, \quad (5)$$

где $W_q(p)$ - оператор, через которого функция $q(t)$ действует на сигнал опроса рельсовых цепей.

В этом случае условием инвариантности системы является выполнение равенства (5).

Если координата компенсирующего воздействия определена, то структурная схема системы имеет вид, представленный на рисунке 5, уравнение системы в операторной форме имеет вид:

$$W_2(t) = W_{O2}(p)[W_{ORp} \times R_p(t) - W_{PRp} \times W_{P2}(p) \times W_{O1}(p) \times W_{Rp}(t) - W_{KP} \times W'_p(p) \times W_{O1}(p) \times W_{P2}(p) \times W_{O1}(p) \times q(t)]. \quad (6)$$

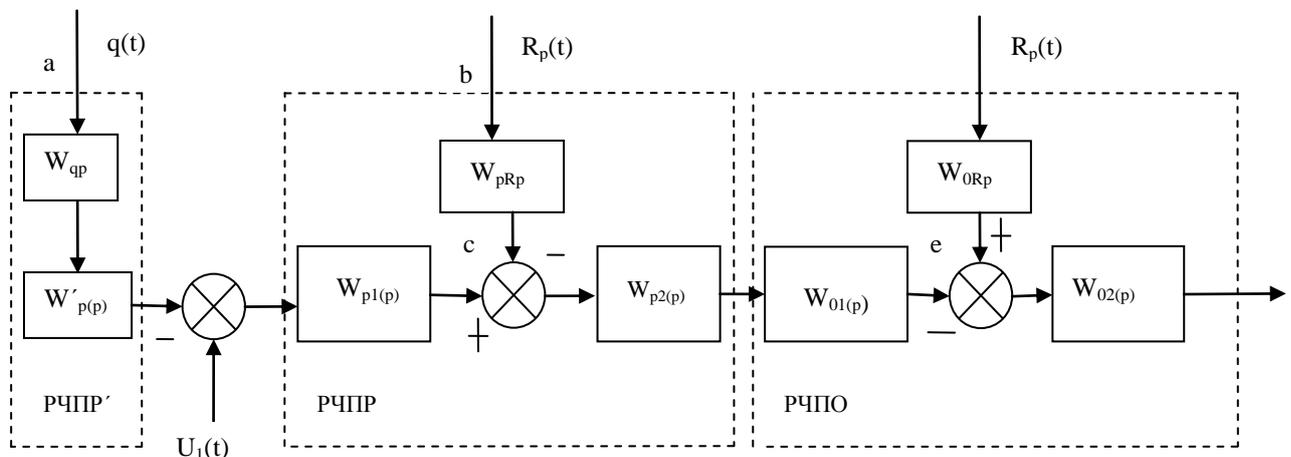


Рисунок 5 – Инвариантная система компенсации возмущений за счет введения компенсирующего звена

Для обеспечения инвариантности значение компенсирующего воздействия должно быть равно:

$$q(t) = W_{qR_p}(p) \times R_p(t), \quad (7)$$

где $W_{qR_p}(p) = \frac{W_{OR_p}(p)}{W_q(p) \times W_p(p) \times W'_p(p)}$ - оператор, преобразующий функцию $R_p(t)$ в функцию $q(t)$.

С учетом изложенного, и обозначений рисунка 2, уравнение для выходного напряжения самонастраивающегося устройства контроля состояний рельсовых линий участка приближения с компенсирующим звеном на входе рельсовой линии имеет вид:

$$U_2 = E_0 / \left\{ \frac{C_p \left[A_0 \cdot Z_n + B_0 \right] D_p \left[C_0 \cdot Z_n + D_0 \right]}{A_0 \cdot Z_n + B_0} \cdot \left[Z_0 + \frac{A_p \left[A_0 \cdot Z_n + B_0 \right] B_p \left[C_0 \cdot Z_n + D_0 \right]}{C_p \left[A_0 \cdot Z_n + B_0 \right] D_p \left[C_0 \cdot Z_n + D_0 \right]} \right] + \frac{E_k \cdot \left[C_k \cdot Z_{нк} + D_k \right] Z_{ок} + A_k \cdot Z_{нк} + B_k}{Z_{нк}} \right\}. \quad (8)$$

Качество компенсации возмущений в разработанном УКСРЛ оценивается через коэффициент динамического диапазона изменения выходного напряжения $U_2(R_p)$ следующим соотношением:

$$K_d = \frac{\sup U_2^i(R_p)}{\inf U_2^i(R_p)}, \quad i = 1, 2, 3, \quad (9)$$

где $\sup U_2^i(R_p)$, $\inf U_2^i(R_p)$ - верхняя и нижняя границы выходного сигнала $U_2(R_p)$ в каждом из режимов: $i=1$ - нормальный режим; $i=2$ шунтовой режим; $i=3$ контрольный режим.

На рисунке 6 представлены результаты исследования изменения выходного напряжения $U_2(R_p, R_0)$ в виде пространства существования совмещенных областей нормального и шунтового режимов.

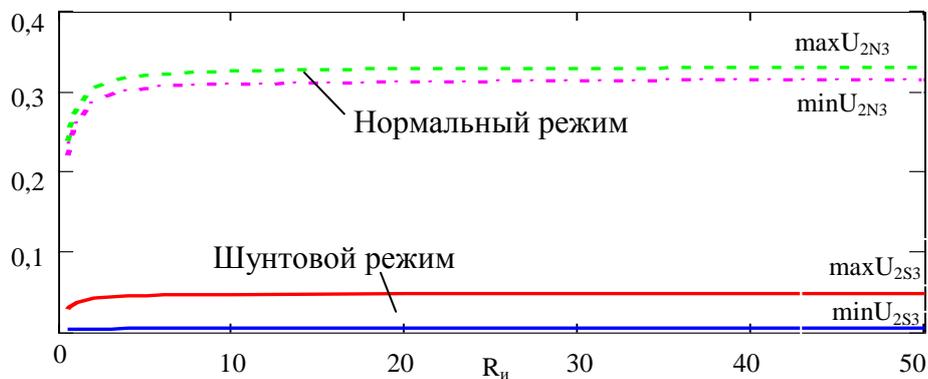


Рисунок 6 – Графики выходного напряжения самонастраивающегося УКСРЛ

Анализ результатов моделирования самонастраивающегося инвариантного участка контроля состояний рельсовых линий участка контроля показывает, что динамический диапазон изменения напряжения на выходе рельсовой линии уменьшился в 4,54 раза по сравнению со схемой без инвариантности и составляет $K_d = 1,49$, при этом напряжение на входе классифицирующего устройства изменяется в пределах $0,33 \geq U_{2N}^{\text{II}} \geq 0,22\text{В}$. В шунтовом режиме предел изменения напряжения составляет $0,0034 \geq U_{2S}^{\text{II}} \geq 0,048\text{В}$, и коэффициент $K_s = 4,58$, что в 3,8 раза больше, чем нормативный, и в 8,5 раза больше, чем у классификатора без самонастройки.

4 глава посвящена технической реализации самонастраивающегося устройства контроля состояний рельсовых линий участков приближения.

Одним из основных требований при технической реализации схемы является обеспечение устойчивого функционирования устройства при воздействии дестабилизирующих факторов, приводящих к изменению номиналов компонент схемы. Приведенная в главе количественная оценка параметрической чувствительности схемы с помощью разработанных в работе коэффициентов чувствительности позволила выявить компоненты, наиболее сильно влияющие на внешние параметры схемы. Оказалось, что наиболее чувствительна схема к изменению сопротивления ограничителя тока основного канала в сторону уменьшения на 15%, при этом коэффициент K_d изменяется на 23%. С учетом того, что коэффициент разделения режимов четырехкратным запасом обеспечивает распознавание режимов, изменение коэффициента K_s на 9,7% не приводит к нарушению правильного распознавания режимов. Поэтому значения элементов схемы устройства могут изменяться в процессе эксплуатации на $\pm 15\%$ без ухудшения динамических и распознающих свойств.

С учетом этого и на основе разработанных принципов построения, определенных частот и уровней напряжений основного и компенсационного каналов, величин согласующих элементов, трансформаторов и фильтров, используемых на железнодорожном транспорте, технически реализовано самонастраивающееся устройство контроля состояний рельсовых линий.

Исследование разработанного и реализованного устройства контроля состояний рельсовых линий в лабораторных условиях показало качество разделения режимов, отличающееся от теоретического не более, чем на 8,5%, а динамический диапазон отличается на 6,3% в пределах изменения проводимости изоляции от 0,1 до 50 Ом·км рельсовых линий переезда $R_p(t)$ и от 0,5 до 50 Ом·км рельсовой линии участка приближения $R_0(t)$; и в этом диапазоне результаты испытаний в полевых условиях отличаются менее чем на 15%.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Анализ причин отказов устройств контроля состояния рельсовых линий участков приближения к переездам показал, что из 14,9% отказов автоматики и телемеханики из общего количества отказов 13% приходится на понижение сопротивления изоляции рельсовых линий, и применяемые организационно-технические мероприятия проблемы не решают. Повышение работоспособности, в условиях воздействия изменяющегося сопротивления изоляции, осуществлено самонастраивающимся УКСРЛ, в алгоритме функционирования которого используется информация об изменении сопротивления изоляции для автоматического поддержания величины напряжения на входе приемника на постоянном уровне, что позволяет обеспечить относительную инвариантность к сопротивлению изоляции.

2. Универсальные математические модели рельсовых цепей участков приближения к переезду в виде каскадного соединения четырехполюсников с матрицами $[A]$ – параметров, и кусочно-однородными рельсовыми линиями с различными первичными параметрами позволяют проанализировать токи и напряжения и их фазовые соотношения определить области их существования в зависимости от изменения сопротивления изоляции рельсовых линий, координат нахождения поезда и обрыва рельсовых линий. С помощью моделей установлено, что динамический диапазон изменения напряжения на выходе рельсовой линии при наличии переезда, в отличие от существующих, составляет $K_{dU2} = 6,81$.

3. Предложенные математические модели, в виде каскадного соединения четырехполюсников с матрицами $[A]$ – параметров, и кусочно-однородными рельсовыми линиями с различными первичными параметрами являются универсальными, позволяют учитывать повышенную проводимость рельсовых линий переезда, гибко изменять конфигурацию схемы, значения первичных параметров рельсовых линий, согласующих устройств. Математические модели дают возможность анализировать картину изменения напряжений и токов и их фазовые соотношения на произвольной координате рельсовой линии, при изменении сопротивления изоляции в широком диапазоне. Установлено, что значение напряжения на выходе рельсовой линии зависит от вида схемы замещения и при замещении рельсовой линии одним четырехполюсником динамический диапазон $K_{dU2} = 1,709$, а при замещении двумя четырехполюсниками - $K_{dU2} = 6,81$.

4. Предложенная физически реализуемая структурная схема самонастраивающегося устройства контроля состояний рельсовых линий с компенсирующим звеном на входе рельсовой линии и уравнение компенсации возмущений, позволили уменьшить динамический диапазон изменения выходного напряжения в 4,54 раза по сравнению со схемой без

самонастройки и достичь $K_{du2} = 1,49$ в условиях воздействия сопротивления изоляции рельсовых линий переезда в диапазоне от 0,1 до 50 Ом·км.

5. Количественная оценка параметрической чувствительности выходного напряжения осуществлена с использованием предложенных коэффициентов чувствительности, и оказалось, что наиболее схема чувствительна к изменению величины ограничительного сопротивления тока основного канала в сторону уменьшения; при этом 15%-ное её изменение приводит к увеличению динамического диапазона напряжения на 23%, а качество распознавания режимов ухудшается на 9,7%.

6. На основе предложенных в работе алгоритмов и структурных схем разработано, изготовлено и внедрено в опытную эксплуатацию на Калининградской железной дороге самонастраивающееся устройство контроля состояний рельсовых линий в комплексе системы автоматической переездной сигнализации.

Экспериментальные исследования разработанного устройства подтверждают правильность основных теоретических положений. Теоретические и экспериментальные данные различаются на 10-15%.

По материалам диссертации опубликовано 12 работ, в том числе:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Моисеев Е.Г., Тарасов Е.М. Квазиинвариантная система компенсации координатных возмущений в длинных линиях // Вестник Самарского муниципального института управления. – Самара: СМИУ, 2009. – № 11. – С. 47-55.

2. Моисеев Е.Г., Трошина М.В. Обеспечение инвариантности к изменению проводимости изоляции рельсовых линий за счет внешнего компенсирующего воздействия // Вестник транспорта Поволжья. – Самара: СамГУПС, 2010. – № 4 (24). – С. 55-58.

3. Моисеев Е.Г. Разработка инвариантной самонастраивающейся системы компенсации координатных возмущений рельсовых линий // Вестник Самарского муниципального института управления. – Самара: СМИУ, 2010. – № 2 (13). – С. 83-87.

4. Якобчук А.И., Моисеев Е.Г. Реализация принципа инвариантности за счет внешнего компенсирующего воздействия // Вестник транспорта Поволжья. – Самара: СамГУПС, 2010. – № 4 (24). – С. 62-65.

5. Патент РФ № 2391241 Горочная рельсовая цепь / Тарасов Е.М., Моисеев Е.Г., Трошина М.В., Якобчук А.И. – Заявл. 12.05.2009г., опубл. Б.И. 2010, № 16.

6. Моисеев Е.Г. Обеспечение безопасности на железнодорожных переездах в пределах города // Город и городское хозяйство: сб. статей Четвертой Всероссийской конференции. – Самара: СМИУ, 2008. – С. 180-183.

7. Моисеев Е.Г. Анализ причин отказов существующих классификаторов состояний рельсовых линий // Математическое моделирование, численные методы и информационные технологии: сб. статей Межвузовской научно-практической конференции. – Самара: СМИУ, 2009. – С. 63-68.

8. Моисеев Е.Г., Якобчук А.И. Требования к устройствам контроля состояний рельсовых линий // Наука и образование транспорту: материалы III Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2010. – С. 64-66.

9. Тарасов Е.М., Трошина М.В., Якобчук А.И., Моисеев Е.Г. Принципы разделения пространства образов решающими функциями на классы состояний рельсовых линий // Безопасность движения поездов: труды XI научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2010. – С. VIII-20 – VIII-22.

10. Тарасов Е.М., Трошина М.В., Якобчук А.И., Моисеев Е.Г. Формирование множества признаков распознающих классификаторов состояний рельсовых линий // Инновации для транспорта: Международная научно-техническая конференция. Часть 1. – Омск: ОмГУПС, 2010. – С. 248-253.

11. Тарасов Е.М., Якобчук А.И., Моисеев Е.Г. Использование принципов инвариантности для совершенствования функционирования классификаторов состояний РЛ // Эффективность и безопасность работы электротехнических комплексов и систем автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте: межвузовский сборник научных трудов. – Омск: ОмГУПС, 2010. – С. 13-18.

12. Тарасов Е.М., Трошина М.В., Моисеев Е.Г. Основные этапы проектирования самонастраивающегося инвариантного устройства контроля состояний рельсовых линий участков приближения // Эффективность и безопасность работы электротехнических комплексов и систем автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте: межвузовский сборник научных трудов. – Омск: ОмГУПС, 2010. – С. 18-23.

Диссертант



Е.Г. Моисеев

МОИСЕЕВ Евгений Геннадьевич

Самонастраиваемое устройство
контроля состояний рельсовых линий для
систем управления переездной сигнализацией

05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники
и систем управления

Подписано в печать _____ . Формат 60x84/16

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 1,5. Тираж 100 экз.

Печать оперативная.

Отпечатано на полиграфическом оборудовании издательства
«Самарский муниципальный институт управления»

443084, г. Самара, ул. Вольская, д. 40