**Горенбейн, Евгений Вячеславович. Электромагнитная совместимость тягового подвижного состава с устройствами интервального регулирования движения поездов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.08 / Горенбейн Евгений Вячеславович; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ].- Москва, 2011.- 253 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/256**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное**

**учреждение высшего профессионального образования**

**«Московский государственный университет путей сообщения»**

**На правах рукописи**

**04.2.1 1 Б 7 7 5 1 “**

**Горенбейн Евгений Вячеславович**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**

**ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С**

**УСТРОЙСТВАМИ ИНТЕРВАЛЬНОГО**

**РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ**

**Специальность: 05.22.08 — Управление процессами перевозок**

**Диссертация на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук**

**Научный руководитель доктор технических наук, доцент Розенберг Е.Н.**

**Москва — 2011**

**, •' • 2 ■ ■ •**

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ВВЕДЕНИЕ 5**

**1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ;**

**СОВМЕСТИМОСТИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С УСТРОЙСТВАМИ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ И АЛС 17**

**Г.1 Определение первичных параметров рельсовой линии 17**

**1.1.1 Расчёт электрического сопротивления рельсов . 18**

**1.1.2 Определение сопротивления изоляции рельсовой линии 25**

**1.1.3 Измерение первичных параметров рельсовой линии.. 29**

**1.2 Расчёт распределения гармонических составляющих тягового токаш**

**рельсовой линии 45**

**1.2.1 Расчёт распределения при электрической тяге постоянного тока...... 47**

**1.2.2 Расчёт распределения при электрической тяге переменного тока. 62'**

**Т.2.3 Экспериментальная проверка распределения гармонических составляющих тягового тока в рельсовой линии. 70**

**1.3 Определение коэффициентов асимметрии рельсовой линии для тягового**

**тока и его гармонических составляющих 92**

**1.3.1 Расчёт коэффициентов продольной асимметрии ........ 93**

**1.3.2 Расчёт коэффициентов поперечной асимметрии 103**

**1.3.3 Определение коэффициентов асимметрии для рельсовых цепей и**

**устройств АЛС. :;... 109**

**1.3.4 Оценка воздействия асимметрии обратного тягового тока на работу**

**рельсовых цепей и устройств АЛС. ......: 114**

**1.3.5 Измерение асимметрии обратного тягового тока в условиях**

**. эксплуатации 116**

**1.4 Выводы 118**

**2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИЁМНЫХ**

**УСТРОЙСТВ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ И АЛС 120**

**2.1 Обзор эксплуатируемых рельсовых цепей и систем АЛС 120**

**з**

**2.2 Оценка допустимых уровней гармонических составляющих тягового тока**

**в рельсовой линии 126**

**2.2.1 Оценка допустимых уровней помех в рельсовой линии для рельсовых**

**цепей при электрической тяге постоянного тока 127**

**2.2.2 Оценка допустимых уровней помех в рельсовой линии для рельсовых**

**цепей при электрической тяге переменного тока 140**

**2.2.3 Оценка допустимых уровней помех в рельсовой линии для устройств**

**АЛСН и АЛС-ЕН 145**

**2.2.4 Оценка допустимых уровней помех в рельсовой линии с**

**использованием вероятностных методов 149**

**2.3 Выводы 162**

**3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКА ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА 163**

**3.1 Определение выражений для расчёта допустимых значений**

**гармонических составляющих тока подвижного состава 163**

**3.1.1 Вывод формул для двухниточных рельсовых цепей и АЛС 163**

**3.1.2 Вывод формул для однониточных рельсовых цепей 166**

**3.2 Определение нормативов ЭМС 173**

**3.2.1 Определение нормативов ЭМС для тягового подвижного состава при**

**электрической тяге постоянного тока 175**

**3.2.2 Определение нормативов ЭМС для тягового подвижного состава при**

**электрической тяге переменного тока 178**

**3.3 Особенности воздействия гармонических составляющих тока тягового подвижного состава на устройства автоматической локомотивной**

**сигнализации и анализ сбоев в работе системы АЛС 182**

**3.4 Методика измерений параметров электромагнитной совместимости при**

**испытаниях тягового подвижного состава 195**

**3.5 Выводы 198**

**4 ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ ВАГОНОВ 199**

**4.1 Принципы построения систем централизованного электроснабжения**

**вагонов пассажирских поездов 199**

**4.2 Определение параметров системы централизованного электроснабжения**

**вагонов 207**

**4.3 Компьютерное моделирование двухпроводной системы централизованного электроснабжения с заземлённой цепью канализации**

**обратного тока 220**

**4.4 Выводы 224**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 226**

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 229**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Листинг программы для расчёта параметров электромагнитной совместимости в среде Mathcad 14 237**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Результаты моделирования работы двухпроводной схемы централизованного электроснабжения вагонов пассажирских поездов в среде Electronics Workbench 5.12 243**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Использование рельсов для пропуска обратного тягового тока от электроподвижного состава к тяговой подстанции требует осуществления комплекса технических, организационных и технологических мероприятий, направленных на обеспечение безотказной работы рельсовых цепей и автоматической локомотивной сигнализации. Прежде всего, должны быть обеспечены электромагнитная совместимость подвижного состава и устройств СЦБ и электробезопасность обслуживающего персонала.

В рамках диссертационной работы получены следующие основные научные и практические результаты.

1. Разработаны методы расчёта и экспериментального определения параметров электромагнитной совместимости тягового подвижного состава с устройствами рельсовых цепей и АЛС. Проведена экспериментальная проверка в эксплуатационных условиях математических моделей и результатов теоретических расчётов параметров ЭМС.
2. Проведён расчёт распределения гармонических составляющих тягового тока в рельсовой линии при электрической тяге постоянного и переменного тока и выполнена экспериментальная проверка распределения тягового тока в условиях реальной эксплуатации. Как показали исследования, на условия распространения тягового тока и его гармонических составляющих в рельсах в значительной степени влияют первичные параметры рельсовой линии (сопротивление рельсов и сопротивление изоляции).

Сопротивление рельсов имеет ярко выраженный индуктивный характер, а сопротивление изоляции — емкостной характер. Для решения практических задач на частотах до 1 кГц сопротивление изоляции можно считать чисто активным ввиду малости его аргумента. На участках с железобетонными шпалами имеет место существенное уменьшение величины сопротивления изоляции с ростом частоты.

1. Выполнено определение коэффициентов асимметрии рельсовой линии для тягового тока и его гармонических составляющих для рельсовых цепей и устройств АЛС и проведена оценка воздействия асимметрии тягового тока на работу устройств СЦБ. Установлено, что при нормативной величине асимметрии тягового тока (до 6% при электротяге постоянного тока и до 4% при электротяге переменного тока) величина коэффициентов асимметрии гармонических составляющих тягового тока может достигать до 14% при обоих видах тяги. Имеет место несоответствие между нормируемыми значениями разностного тока и коэффициента асимметрии и максимально возможными значениями обратного тягового тока в реальных условиях эксплуатации.
2. Определены уровни помехоустойчивости приёмных устройств рельсовых цепей и АЛС по условиям мешающего и опасного влияния. Согласно проведённым исследованиям, наибольшему воздействию тягового тока и его гармонических составляющих подвергаются рельсовые цепи, расположенные в месте подключения к рельсовой сети отсасывающего фидера тяговой подстанции.

При оценке допустимых значений токов помех необходимо учитывать параметры применяемых сигналов и технические характеристики приёмных устройств, вид модуляции, временные характеристики, допустимое соотношение сигнал/помеха, рабочую ширину полосы пропускания, затухания сигналов, а также коэффициенты передачи применяемых дроссель- трансформаторов и путевых трансформаторов.

При оценке допустимых уровней помех по условиям опасного влияния следует учитывать максимальный остаточный сигнал рельсовой цепи на приёмном конце при наличии поезда на данной рельсовой цепи.

1. Разработана методика определения допустимых значений гармонических составляющих тока тягового подвижного состава при электрической тяге постоянного и переменного тока с учётом растекания тягового тока в рельсовой сети и влияния нескольких воздействующих поездов на фидерной зоне. Разработаны предложения по нормированию значений токов помех с учётом оснащённости устройствами СЦБ конкретных участков обращения подвижного состава. Применение разработанных нормативов ЭМС позволит в ряде случаев исключить необоснованно жёсткие требования, предъявляемые к перспективному подвижному составу.

Однониточные рельсовые цепи частотой 25 и 50 Гц являются наиболее подверженными влиянию помех. При их исключении из эксплуатации нормативы на этих частотах могут быть существенно увеличены.

1. Проведена оценка влияния гармонических составляющих тягового тока на устройства АЛС и выполнен анализ причин сбоев АЛС. Установлено, что причины сбоев АЛС носят комплексный характер. На устойчивость работы АЛС влияет до трёх десятков различных факторов. Сбой может произойти в результате воздействия одного или нескольких случайных неблагоприятных факторов или их сочетания.
2. Разработана методика испытаний тягового подвижного состава на электромагнитную совместимость с устройствами СЦБ.
3. Выполнен анализ условий обеспечения электромагнитной совместимости и электробезопасности тягового подвижного состава с централизованным электроснабжением вагонов. Установлено, что применение типовой системы ЦЭС постоянного тока 3000 В на участках с автономной тягой может привести к возникновению опасных напряжений в зоне изолирующего стыка и между вагонами поезда и необеспечению условий ЭМС с устройствами рельсовых цепей. Рекомендовано использовать на участках с автономной тягой двухпроводную схему централизованного электроснабжения вагонов пассажирских поездов от тепловоза с заземлённой цепью обратного тока. Определены и научно обоснованы допустимые значения параметров системы централизованного электроснабжения вагонов для обеспечения условий электромагнитной совместимости и электробезопасности обслуживающего персонала и пассажиров.