

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ НА ТОНАЛЬНЫЕ РЕЛЬСОВЫЕ ЦЕПИ

Работа посвящена исследованию влияния импульсных помех на тональные рельсовые цепи. В результате проведенного имитационного моделирования исследован механизм воздействия на путевой приемник тональной рельсовой цепи одиночной импульсной помехи, периодической и случайной последовательности импульсов, определены «опасные» уровни помех.

Ключевые слова: тональные рельсовые цепи, путевой приемник, импульсные помехи, фильтр, имитационное моделирование, «опасные» уровни помех

Введение

При построении автоматизированных систем управления движением поездов (АСУДП) в настоящее время в качестве основного источника первичной информации о местоположении транспортных средств применяются рельсовые цепи. От надежной работы рельсовых цепей во многом зависит надежность АСУДП, а, следовательно, безопасность движения поездов и эффективность перевозочного процесса. Широко применяются рельсовые цепи тональной частоты (ТРЦ), которые позволяют исключить изолирующие стыки. Благодаря этому, становится возможным применение цельносварных рельсовых плетей, обеспечивается электрическая непрерывность цепи возврата тягового тока, сокращается число используемых дроссель-трансформаторов [1,2].

Одной из причин сбоев в работе рельсовых цепей является воздействие неблагоприятных факторов, таких как флуктуации сопротивления изоляции балласта, влияние гармонических составляющих обратного тягового тока, электромагнитные помехи, создаваемые подвижным составом, устройствами автоматической локомотивной сигнализации, соседними рельсовыми линиями.

По структуре и статистическим характеристикам помехи подразделяют на флуктуационные (гладкие), импульсные (сосредоточенные по времени) и синусоидальные (сосредоточенные по спектру частот) [3]. Источниками флуктуационных помех являются, прежде всего, собственные шумы рельсовой цепи, связанные с флуктуациями параметров ее элементов, а также другие шумы окружающего пространства. Обычно считают, что флуктуационные помехи имеют постоянную спектральную плотность мощности в пределах полосы пропускания приемника, т.е. их можно аппроксимировать белым шумом. По закону распределения

мгновенных значений флуктуационные помехи можно отнести к гауссовским [3, 4].

К сосредоточенным по спектру помехам, влияющим на работу рельсовых цепей, относятся гармонические составляющие тягового тока, сигналы автоматической локомотивной сигнализации, а также сигналы соседних рельсовых цепей.

Импульсные помехи создаются в результате изменения режима ведения электровоза, нарушения токосъема (контакта между ползком токоприемника и контактным проводом), изменения переходных сопротивлений между бандажами колесных пар электровоза и рельсами при движении поезда, аварийных процессов в тяговой сети, а также в результате действия грозовых разрядов.

Как правило, при исследовании влияния системы тягового электроснабжения на работу рельсовых цепей выполняется спектральный анализ обратного тягового тока и определяются уровни гармоник, попадающие в полосу пропускания приемника рельсовой цепи [2, 5 – 7]. В зависимости от спектрального состава тягового тока оценивают степень его влияния на рельсовые цепи. Такой подход справедлив для анализа влияния флуктуационных и сосредоточенных помех, которые можно рассматривать как стационарный случайный процесс. В тоже время импульсные помехи, представляющие собой хаотическую последовательность коротких импульсов, в большинстве случаев не являются стационарными. Поэтому целесообразным является исследование непосредственного влияния импульсных помех на путевой приемник рельсовой цепи.

Целью данной работы является исследование непосредственного влияния импульсных помех на путевой приемник тональных рельсовых цепей с использованием детерминированных и вероятностных моделей помех.

Модели импульсных помех

Импульсная помеха представляет собой последовательность кратковременных импульсов вида

$$U_n(t) = \sum_{i=1}^m A_i \cdot h_i(t - \tau_i), \quad (1)$$

где A_i – случайные амплитуды импульсов; h_i – огибающие импульсов; τ_i – случайные моменты появления импульсов; m – количество импульсов. В большинстве случаев огибающую импульсной помехи можно описать выражением

$$h_i(t - \tau_i) = \begin{cases} 1, & \tau_i \leq t \leq \tau_i + t_{ui} \\ 0, & t < \tau_i, \quad t > \tau_i + t_{ui} \end{cases}, \quad (2)$$

где t_{ui} – случайные длительности импульсов.

При проведении исследований будем использовать несколько упрощенных моделей импульсных помех: одиночная импульсная помеха, периодическая последовательность импульсов и случайная импульсная последовательность.

Одиночная импульсная помеха (рис. 1) описывается выражением

$$U_n(t) = \begin{cases} A, & \tau \leq t \leq \tau + t_u \\ 0, & t < \tau, \quad t > \tau + t_u \end{cases}. \quad (3)$$

Параметрами такой помехи являются ее амплитуда A , время появления τ и длительность t_u .

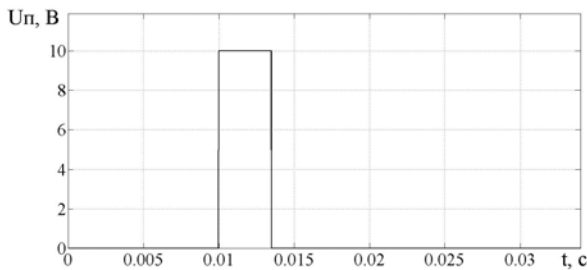


Рис. 1. Одиночная импульсная помеха

Для **периодической последовательности импульсов** (рис. 2) выполняется условие

$$U_n(t) = U_n(t + T), \quad (4)$$

где $T = t_u + t_{ин}$ – период следования импульсов; $t_{ин}$ – длительность интервалов между импульсами.

Модель **случайной импульсной последовательности** для исследования помехоустойчивости приемника рельсовой цепи предложена в работе [8]. Авторы данной работы проводили регистрацию импульсных помех на различных участках Куйбышевской и Московской железных дорог при различных режимах движения

поезда (переключение схем управления тяговыми двигателями локомотива, в том числе – режим рекуперации; набор и сброс позиций контроллера машиниста, боксование локомотива, движение по стрелочным переводам и боковая качка локомотива, проезд изолирующих стыков и т.д.). После обработки экспериментальных данных авторами работы [8] было установлено: амплитуда зафиксированных импульсных помех находится в диапазоне от -47 до 51 В, математическое ожидание длительности помех составляет 3,52 мс, дисперсия длительности помех – 17,01 мс², математическое ожидание межимпульсных интервалов – 171,7 мс, дисперсия межимпульсных интервалов – 0,2034 с². Авторами работы [8] также было установлено, что длительность импульсов помехи подчиняется экспоненциальному закону

$$w_u(n) = \lambda e^{-\lambda n} \quad (5)$$

с параметром $\lambda = 284,057$, а длительность межимпульсных интервалов подчиняется закону гамма-распределения

$$w_{ин}(n) = \frac{b^a}{\Gamma(a)} n^{a-1} e^{-bn}, \quad (6)$$

где $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} z^{x-1} e^{-z} dz$ – гамма-функция; $a = 0,0109$; $b = 1,216$. Реализация такой случайной импульсной последовательности представлена на рис. 3.

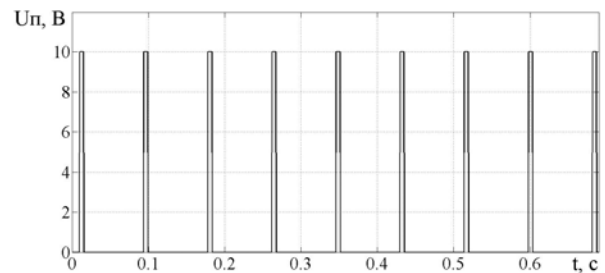


Рис. 2. Периодическая последовательность импульсов

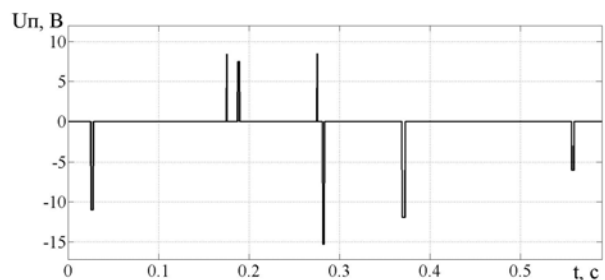


Рис. 3. Реализация случайной импульсной последовательности

Имитационное моделирование

В тональных рельсовых цепях применяется амплитудно-манипулированный сигнал контроля рельсовой линии (КРЛ). Путьевой приемник ТРЦ, в котором выполняется обработка такого сигнала, содержит следующие функциональные узлы: входной полосовой фильтр (ВФ), настроенный на несущую частоту, демодулятор, первый фильтр модулирующей частоты (ФМ), пороговый элемент, выходной усилитель, второй фильтр модулирующей частоты и выпрямитель [1, 2]. Если уровень сигнала на выходе фильтра ФМ превышает заданное граничное значение, то на выходе порогового элемента формируется последовательность прямоугольных импульсов с частотой модуляции, которая усиливается выходным усилителем и через второй фильтр частоты модуляции и выпрямитель поступает на путьевое реле, приводя к его срабатыванию. Таким образом, на помехоустойчивость приемника влияют, прежде всего, входной фильтр и первый фильтр моделирующей частоты. Если в результате воздействия помехи на входе порогового элемента появится сигнал, превышающий граничное значение, то это может привести к ложному срабатыванию приемника.

Для исследования влияния импульсных помех на путьевой приемник ТРЦ было проведено имитационное моделирование в среде Matlab. При этом использовалась цифровая модель путьевого приемника для несущей частоты 480 Гц и модулирующей частоты 12 Гц. В качестве моделей фильтров применялись цифровые фильтры, параметры которых соответствуют существующим нормативам [9].

Параметры модели входного фильтра:

тип – КИХ-фильтр;

порядок – 86;

частота дискретизации – 2 кГц;

полоса пропускания по уровню 3 дБ – (468-492) Гц;

полоса задерживания – < 444 Гц, > 516 Гц;

затухание в полосе задерживания – > 38 дБ.

Параметры модели фильтра ФМ:

тип – КИХ-фильтр;

частота дискретизации – 2 кГц;

полоса пропускания по уровню 3 дБ

– (11-13) Гц;

полоса задерживания – < 8 Гц, > 16 Гц;

затухание в полосе задерживания – > 30 дБ.

Для выполнения демодуляции применялась нелинейная операция нахождения абсолютного значения величины.

В соответствии с существующими нормативными документами [9] чувствительность

путьевого приемника ТРЦ должна составлять $0,35 \pm 0,03$ В. На первом этапе моделирования на вход приемника подавался амплитудно-манипулированный сигнал КРЛ с действующим напряжением 0,32 В. При этом амплитуда сигнала на выходе фильтра ФМ составила 1,44 В. Для обеспечения необходимой чувствительности приемника данное значение было выбрано в качестве граничного для порогового элемента.

На следующем этапе на вход приемника подавались различные импульсные помехи в соответствии с моделями, описанными выше. На рис. 4 показаны результаты моделирования для одиночной импульсной помехи амплитудой 10 В и длительностью 3,5 мс. Как видно, импульсная помеха вызывает ударное возбуждение входного фильтра и на его выходе появляются свободные затухающие колебания с частотой несущей (рис. 4, а). Полученный таким образом радиоимпульс после нелинейного преобразования (демодуляции), в свою очередь, приводит к ударному возбуждению фильтра ФМ (рис. 4, в). Таким образом, в результате воздействия одиночного импульса на выходе первого фильтра модулирующей частоты появляются свободные затухающие колебания с частотой 12 Гц. Если уровень данных колебаний превысит пороговое значение, может произойти ложное срабатывание приемника.

Результаты воздействия на путьевой приемник периодической последовательности кратковременных импульсов амплитудой 10 В с частотами 6, 8 и 12 Гц представлены на рис. 6. Каждый входной импульс вызывает появление свободных затухающих колебаний на выходе фильтра несущей частоты (рис. 5, а). Если частота входных импульсов совпадает с частотой, на которую настроен фильтр ФМ (12 Гц), то после завершения переходного процесса, который длится три-четыре периода, на выходе этого фильтра формируются синусоидальные колебания постоянной амплитуды (рис. 5, б). Таким образом, последовательность из трех-четырех импульсов, период следования которых совпадает с периодом модулирующего сигнала, может привести к появлению значительного сигнала на выходе фильтра ФМ. При частоте импульсов помехи 6 Гц после завершения переходного процесса на выходе фильтра модулирующей частоты возникают биения сигнала (рис. 5, в) с частотой 6 Гц. При этом уже за два периода входного сигнала (в результате действия двух импульсов помехи) сигнал на выходе фильтра ФМ достигает максимального значения. Как видно из рис. 5, г после заверше-

ния переходного процесса фильтр ФМ заметно подавляет импульсную помеху с частотой 8 Гц. Также было установлено, что путевой приемник заметно ослабляет импульсные помехи, частоты которых не входят в диапазоны (11...13) Гц, (5,5...6,5) Гц.

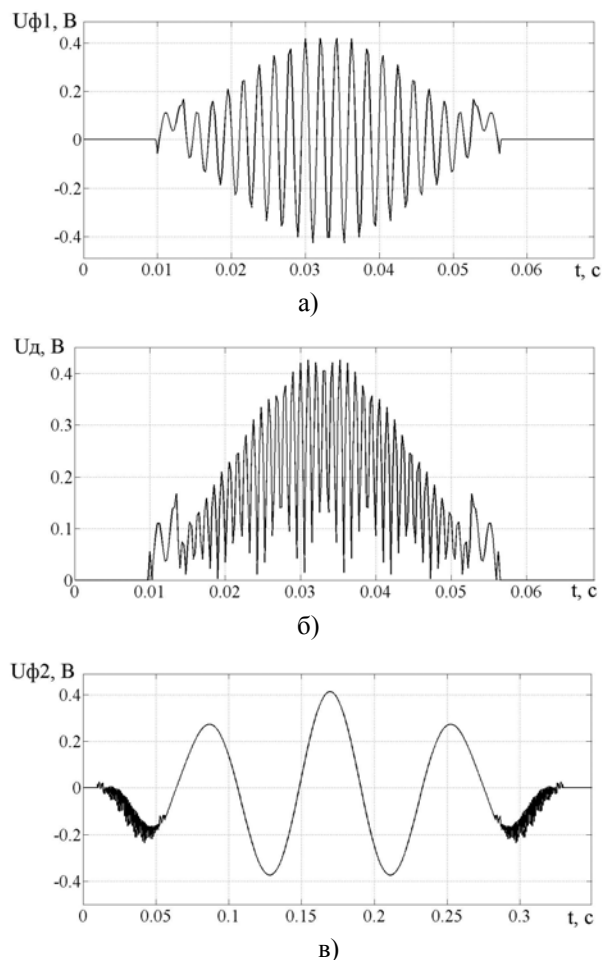


Рис. 4. Временные диаграммы напряжений при воздействии одиночной импульсной помехи: а – на выходе фильтра несущей; б – на выходе нелинейного элемента; в – на выходе фильтра ФМ

Были определены «опасные» уровни помех, при которых может произойти ложное срабатывание путевого приемника. Для этого была получена зависимость максимального значения сигнала на выходе фильтра ФМ от амплитуды помехи (рис. 6). При пороговом уровне 1,44 В «опасными» являются одиночная импульсная помеха амплитудой выше 35 В, периодическая последовательность импульсов частотой 6 Гц и амплитудой выше 22,7 В, периодическая последовательность импульсов частотой 12 Гц и амплитудой выше 12,8 В.

На рис. 7 показаны результаты воздействия на путевой приемник одной из реализаций случайной импульсной последовательности, вероятностная модель которой описана выше. В со-

ответствии с данными, полученными в [8], математическое ожидание межимпульсных интервалов составляет 171,7 мс, а дисперсия – 0,2034 с². При таких параметрах достаточно высокой является вероятность следования импульсов с интервалом 166,7 мс, что соответствует частоте 6 Гц. Этим можно объяснить довольно высокий уровень помехи на выходе фильтра ФМ (рис. 7, б).

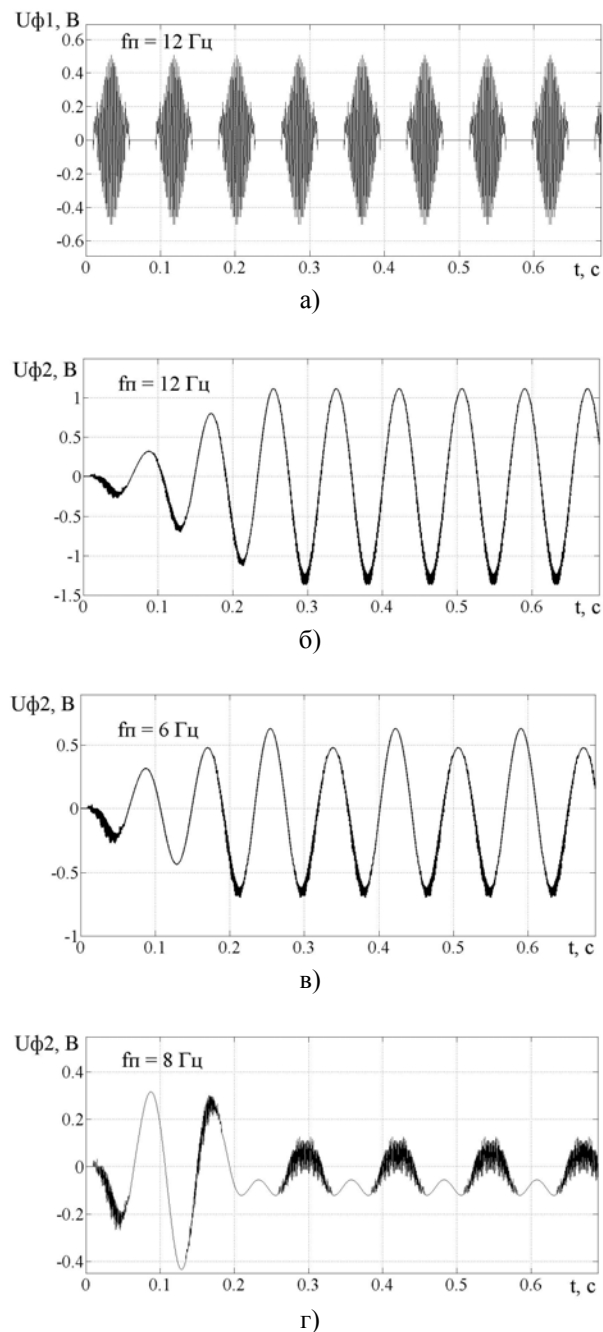


Рис. 5. Временные диаграммы напряжений при воздействии периодической импульсной последовательности: а – на выходе фильтра несущей; б, в, г – на выходе фильтра модулирующей частоты

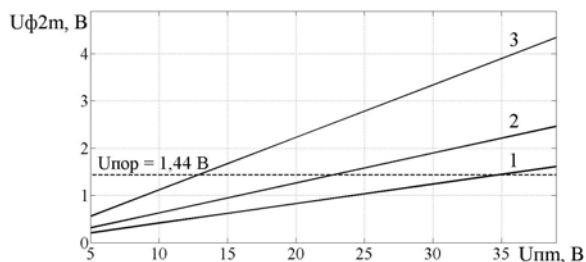


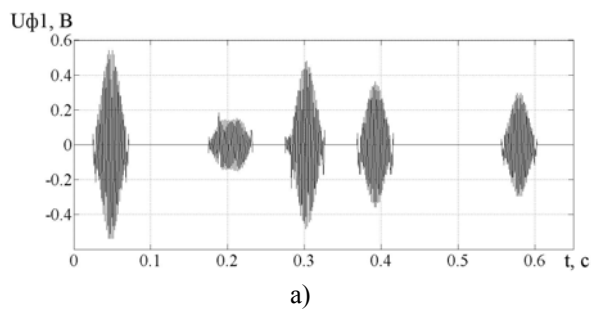
Рис. 6. Зависимость уровня сигнала на выходе фильтра модулирующей частоты от амплитуды помехи

1 – одиночная помеха; 2 – периодическая последовательность 6 Гц; 3 – последовательность 12 Гц

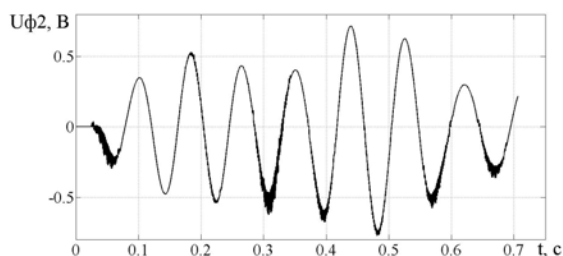
Выводы

1. Одиночная импульсная помеха вызывает ударное возбуждение входного фильтра и на его выходе появляются свободные затухающие колебания с частотой несущей, что, в свою очередь, приводит к ударному возбуждению фильтра модулирующей частоты. Одиночный импульс амплитудой выше 35 В может привести к ложному срабатыванию приемника.

2. Наиболее «опасными» являются периодические импульсные последовательности, частоты которых входят в диапазоны (11-13) Гц, (5,5-6,5) Гц. Так при частоте следования импульсов 12 Гц к ложному срабатыванию приемника может привести серия из четырех импульсов амплитудой выше 12,8 В, а при частоте 6 Гц – серия из трех импульсов амплитудой выше 22,7 В.



а)



б)

Рис. 7. Временные диаграммы напряжений при воздействии случайной импульсной последовательности:

а – на выходе фильтра несущей;
б – на выходе фильтра модулирующей частоты

3. Дальнейшие исследования в данном направлении связаны с усовершенствованием методов защиты путевого приемника рельсовой цепи от импульсных помех, поиском новых более совершенных алгоритмов обработки сигналов контроля рельсовой линии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоров, Н. Е. Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями [Текст] : учеб. пособие / Н. Е. Федоров. – Самара: СамГАПС, 2004. – 132 с.
2. Кулик, П. Д. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности [Текст] / П. Д. Кулик, Н. С. Ивакин, А. А. Удовиков. – К.: Изд. дом «Мануфактура», 2004. – 288 с.
3. Фомин, А. Ф. Помехоустойчивость систем железнодорожной радиосвязи [Текст] / А. Ф. Фомин, Ю. В. Ваванов. – М.: Транспорт, 1987. – 295 с.
4. Тихонов, В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем [Текст] / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 1991. – 608 с.
5. Сердюк, Т. Н. Взаимодействие системы тягового электроснабжения постоянного тока с рельсовыми цепями [Текст] / Т. Н. Сердюк, В. И. Гаврилюк // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – № 4. – С. 108–112.
6. Сердюк, Т. Н. Измерение электромагнитных помех в обратной тяговой сети [Текст] / Т. Н. Сердюк, А. В. Завгородний, В. И. Гаврилюк // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 29. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 134–139.
7. Гаврилюк, В. І. Аналіз впливу тягового електропостачання на роботу рейкових кіл [Текст] / В. І. Гаврилюк, О. В. Завгородній // Залізн. трансп. України. – 2005. – № 2. – С. 37–39.
8. Блачев, К. Э. Имитационное моделирование цифрового приемника сигналов систем интервального регулирования движения поездов [Текст] / К. Э. Блачев // Вестник Самарского гос. техн. ун-та. – 2008. – № 2 (22). – С. 223–227.
9. Кулик, П. Д. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних рейкових кіл [Текст] : керівний нормативний документ «Укрзалізниця», ЦШ 0041 : Затв.: Наказ «Укрзалізниця» № 745-ЦЗ від 26.12.2005 / П. Д. Кулик, О. О. Удовіков, В. І. Басов. – К.: Мінтрансзв'язку України, 2006. – 236 с.

Поступила в редколлегию 10.11.2011.
Принята к печати 14.11.2011.

К. В. ГОНЧАРОВ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІМПУЛЬСНИХ ЗАВАД НА ТОНАЛЬНІ РЕЙКОВІ КОЛА

Робота присвячена дослідженню впливу імпульсних завад на тональні рейкові кола. В результаті проведеного імітаційного моделювання досліджено механізм впливу на колійний приймач тонального рейкового кола одиночної імпульсної завади, періодичної та випадкової послідовності імпульсів, визначено «небезпечні» рівні завад.

Ключові слова: тональні рейкові кола, колійний приймач, імпульсні завади, фільтр, імітаційне моделювання, «небезпечні» рівні завад

K. V. GONCHAROV

RESEARCH OF INFLUENCE OF PULSE INTERFERENCE ON THE TONE RAIL CIRCUITS

The work is devoted to the influence of pulse interference on the tone rail circuits. As a result of simulations, the mechanism of influence on the track receiver of tone rail circuit single impulse interference, periodic and random sequence of pulses has been investigated; «dangerous» levels of noise have been defined.

Keywords: tone rail circuits, track receiver, impulse interference, filter, simulation modeling, «dangerous» levels of interference