

- FMEA, представляет собой структурированный качественный анализ системы для выявления потенциальных отказов, их причин и влияния на работу системы;
- FMECA, используя результаты FMEA, позволяет выполнить классифицировать последствия отказов по качественным признакам (критериям);
- FMEDA позволяет получить количественные данные об отказах (частота отказов и распределение видов отказов) для всех анализируемых компонентов и возможность выявления отказов с помощью диагностики.

От применяемого метода зависит сложность исследования и требуемый объем исходных данных, поэтому при выборе метода необходимо руководствоваться текущими целями анализа на данном этапе жизненного цикла системы.

Стандарт ГОСТ Р 27.303–2021 [1] предполагает возможность модифицировать FMEA под конкретные задачи, не ограничиваясь FMEA, FMECA и FMEDA путем добавления новых критериев (например, можно скомбинировать FMECA и FMEDA).

Список литературы

- 1 ГОСТ Р 27.303–2021 (МЭК 60812:2018). Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов. – Введ. 2021–09–21. – М. : РСТ, 2021. – 65 с.
- 2 СТБ ІЕС 61508-2-2014. Функціональна безпека електричних, електронних, програмуємих електронних систем, що стосуються до безпеки. Ч. 2. Вимоги до електричних, електронних, програмуємих електронних систем, що стосуються до безпеки = Функціональна безпека електричних, електронних, програмуємих електронних систем, які адносяцца да бяспекі. Ч. 2. Патрабаванні да електричных, електронных, праграмуємих електронных сістэм, які адносяцца да бяспекі. – Введ. впершыя ; введ. РБ 2014–11–11. – Минск : Беларус. гос. ін-т стандартизацыі і сертыфікацыі, 2014. – 93 с.
- 3 ГОСТ ІЕС 62279–2019. Железные дороги. Системы связи, сигнализации обработки данных. Программное обеспечение систем управления и защиты на железной дороге = Чыгункі. сістэмы сувязі, сігналацыі і апрацоўкі даных. Праграмае забеспячэнне сістэм кіравання і аховы на чыгунцы. – Введ. впершыя ; введ. РБ 2021–03–15. – Минск : Беларус. гос. ін-т стандартизацыі і сертыфікацыі, 2014. – 108 с.
- 4 Бочков, К. А. Разработка отказоустойчивых систем на основе диверситетных аксиоматических базисов / К. А. Бочков, С. Н. Харлап, Б. В. Сивко // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 47–64.
- 5 Харлап, С. Н. Оценка независимости отказов в диверситетном программном обеспечении с помощью EI-модели / С. Н. Харлап, А. Ю. Кулаженко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч., Гомель, 25–26 ноября 2021 года. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 203–204.
- 6 Харлап, С. Н. Применение диверситета в автоматизированных системах управления опасными технологическими процессами для повышения устойчивости к систематическим отказам / С. Н. Харлап // Известия Транссиба. – 2020. – № 3 (43). – С. 148–157.
- 7 Харлап, С. Н. Автоматизация проведения анализа FMECA микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / С. Н. Харлап, В. Л. Катков // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2020. – № 2 (41). – С. 17–19.

УДК 656.25

РАСЧЁТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ РЕЛЬСОВЫХ ЛИНИЙ

В. И. ШАМАНОВ, Д. В. ДЕНЕЖКИН

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

В системах интервального регулирования движения поездов рельсовые линии используются как линии электрической связи, по которым передаются сигнальные токи для приёмников рельсовых цепей (РЦ) и автоматической локомотивной сигнализации (АЛС). Однако на электрифицированных железных дорогах по рельсовым линиям пропускаются и тяговые токи, величина которых может превышать сигнальные токи на два порядка и более. Поэтому возникает проблема существенного уменьшения влияния тяговых токов на устойчивость работы аппаратуры РЦ и АЛС.

Для определения условий, обеспечивающих устойчивую работу приёмников РЦ и АЛС, достаточно знать величины сигнальных токов в этих приёмниках и сигнальных напряжений на питающих концах отрезков рельсовых линий, обеспечивающих эти токи. Поэтому на расчётной схеме указываются пути протекания сигнальных токов с длинами всех участков отрезка рельсовой линии, оборудованного РЦ, величины продольного и поперечного сопротивления этих участков. Сигнальный ток по отрезкам рельсовой линии между источником и приёмником тока течёт в противоположных направлениях, поэтому влияние взаимной индуктивности учитывают только при расчётах работы РЦ в контрольном режиме [1]. Учитывается, что рельсовая линия обладает распределёнными параметрами и при расчетах РЦ она представляется пассивным четырёхполюсником типа А [2].

Особенности построения схем РЦ обеспечивают исключение мешающего влияния на работу РЦ и АЛС тяговых токов при их равенстве в рельсовых нитях под приёмными локомотивными катушками АЛС и в местах подключения к рельсам аппаратуры РЦ. Однако это условие реально выполняется не всегда. Разность (асимметрия) тяговых токов появляется, когда становятся неодинаковыми продольные и/или поперечные сопротивления рельсовых нитей. Поэтому при расчётах помех от тяговых токов на аппаратуру РЦ и АЛС должны учитываться особенности протекания тягового тока по каждой рельсовой нити рельсовой линии. А поскольку тяговые токи текут по рельсовым линиям в одном направлении, приходится учитывать влияние на условия их протекания взаимной индуктивности между своими рельсовыми нитями и с другими токонесущими линиями [3].

В методике для определения мешающего влияния переменной составляющей постоянного тягового тока на приёмники сигналов в тональных станционных РЦ и бесстыковых перегонных РЦ использованы дифференциальные уравнения при расчётах напряжений и токов в каждой рельсовой нити, когда рельсовая линия однородна [4]. Найденные для этого частного случая аналитические выражения получились достаточно сложными, хотя они вполне применимы в инженерной практике с использованием ЭЦВМ.

Величины тяговых токов, втекающих в отрезки рельсовых нитей в начале РЦ или под приёмными локомотивными катушками АЛС, обратно пропорциональны входным сопротивлениям этих отрезков. Был получен ряд результатов по оценке уровня помех от переменного тягового тока на приёмники АЛС при представлении отрезков рельсовых нитей схемами Кауэра [3]. Величины входных сопротивлений отрезков рельсовых нитей при этом вычислялись с использованием непрерывной (цепной) дроби. Однако по такой расчётной схеме сложно вычислять токи в концах отрезков рельсовых нитей, поэтому она мало пригодна для оценки помехоустойчивости аппаратуры РЦ. При расчётах относительно сложно учитывать меняющуюся по длине неоднородной рельсовой линии взаимную индуктивность между этими нитями.

Рельсовые линии при звеньевом пути чаще неоднородны. При движении поезда по такой линии входные сопротивления отрезков рельсовых нитей перед ним изменяются, в результате чего изменяется и уровень помех от тягового тока на аппаратуру АЛС. Для анализа динамики сбоев в работе этой аппаратуры удобна расчётная схема, показанная на рисунке 1, когда рельсовая линия, обладающая распределёнными параметрами, представляется как линия с сосредоточенными параметрами [2]. Величина погрешности от такой замены зависит от соотношения величин удельных продольного и поперечного сопротивлений рельсовых нитей на определённой частоте. Требуемая точность такой замены обеспечивается за счёт разделения рельсовой линии на отдельные отрезки. В неоднородной рельсовой линии продольные и поперечные сопротивления рельсовых нитей по длине этих отрезков должны изменяться в допустимых пределах. Схема всей рельсовой линии получается за счёт каскадного соединения этих отрезков [5].

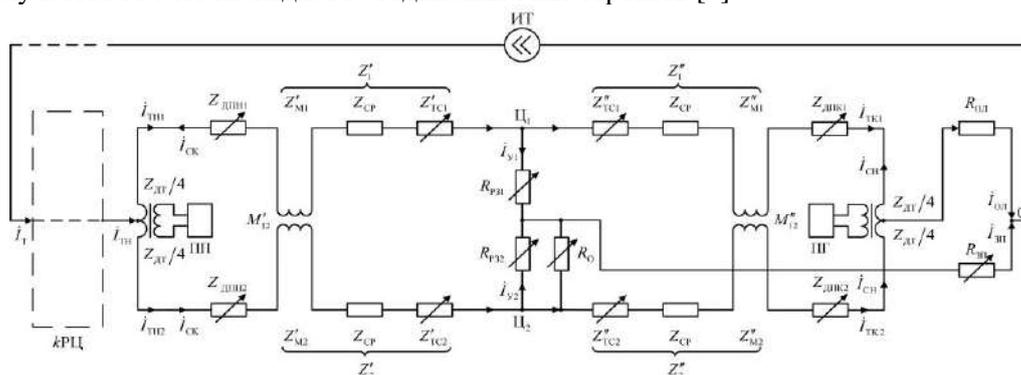


Рисунок 1 – Расчётная схема рельсовой цепи

На рисунке 1 показана такая расчётная схема для случая, когда рельсовую линию в пределах РЦ на отрезки можно не делить. Принятые условные обозначения: ИТ – источник тягового тока \dot{I}_T ; ПГ, ПП – путевые генератор и приёмник; M'_{12}, M''_{12} – взаимные индуктивности между половинами отрезков рельсовых нитей; $Z_{дт}$ – сопротивления секций основных обмоток дроссель-трансформаторов; $Z_{дпк1}, Z_{дпк2}$ – сопротивления дроссельных перемычек; Z'_1, Z''_1 и

Z'_2, Z''_2 – продольные сопротивления первой и второй рельсовых нитей, включающие в себя сопротивления сплошных рельсов Z_{CP} ; Z'_{TC1}, Z''_{TC1} и Z'_{TC2}, Z''_{TC2} – сопротивления рельсовых стыков; Z'_{M1}, Z''_{M1} и Z'_{M2}, Z''_{M2} – сопротивления взаимной индуктивности между рельсовыми нитями; R_{P31}, R_{P32} – сопротивления рельсовых нитей по отношению к земле; R_O – сопротивления цепей заземления различных конструкций, подключаемых к рельсам; $R_{ОЛ}, R_{ЗП}$ – сопротивления отсасывающей линии и контура заземления тяговой подстанции; $I_{ТН}$ – тяговый ток, втекающий в РЦ; $I_{ТН1}, I_{ТН2}$ и $I_{ТК1}, I_{ТК2}$ – тяговые токи в началах и концах рельсовых нитей; I_{Y1}, I_{Y2} – тяговые токи, стекающие из рельсов в землю; $I_{СК}, I_{СН}$ – сигнальные токи в конце и начале рельсовой линии.

Исследования показали, что эта схема очень удобна для расчётов асимметрии тягового тока в неоднородных рельсовых линиях. Применение метода контурных токов в такой схеме даёт возможность находить распределение тяговых токов в тональных бесстыковых РЦ, оборудованных выравнивающими дросселями. Учёт действия взаимной индуктивности между рельсовыми нитями рельсовой линии на величину асимметрии тягового тока вызывает необходимость проводить расчёты в два этапа. Таким образом, последняя из рассмотренных расчётных схем представляется универсальной для оценки уровней помех от тягового тока на аппаратуру РЦ и АЛС.

Список литературы

- 1 **Брылеев, А. М.** Электрические рельсовые цепи / А. М. Брылеев, Н. Ф. Котляренко. – М. : Транспорт, 1970. – 256 с.
- 2 **Зевеке, Е. Г.** Основы теории цепей / Е. Г. Зевеке, П. А. Ионкин. – М. : Энергия, 1975. – 751 с.
- 3 **Shamanov, V.** Formation of Interference from Power Circuits to Apparatus of Automation and Remote Control / V. Shamanov // Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWSDTS`2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018. – P. 140–146. – DOI: 10.1109/EWSDTS.2018.
- 4 **Кравцов, Ю. А.** Электромагнитное влияние перспективного электроподвижного состава на устройства железнодорожной автоматики / Ю. А. Кравцов, П. Е. Машенко, Е. Г. Щербина. – М. : МИИТ, 2012. – 117 с.
- 5 **Шаманов, В. И.** Расчеты помех от тягового тока в неоднородных рельсовых линиях / В. И. Шаманов // Автоматика на транспорте. – 2020. – Т. 6, № 3. – С. 241–267.

УДК 656.259.12 + 06

РАСЧЕТ УРОВНЕЙ КОДОВЫХ СИГНАЛОВ В РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДА

Д. В. ШВАЛОВ, А. В. ЛАЩЕНОВ, Т. В. БИТАНОВА

Ростовский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Автоматизация технического обслуживания napольных устройств автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) – аппаратуры тракта кодирования рельсовых цепей – одна из приоритетных задач, которая должна быть реализована в ближайшей перспективе для снижения ресурсозатрат, повышения качества выполнения работ за счет сокращения влияния «человеческого фактора», перехода на обслуживание по состоянию. Традиционный, реализуемый в настоящее время подход к автоматизации технического обслуживания устройств кодирования состоит в выполнении операций по измерению значений параметров кодового тока стационарными или мобильными (бортовыми) измерительно-вычислительными комплексами (ИВК) технического диагностирования и мониторинга.

Мобильные (бортовые) ИВК [1] выполняют автоматическую обработку воспринимаемых из рельсовой линии сигналов и позволяют определить вид, уровень и качество сигналов АЛС, наличие помех на частоте сигнального тока. Привязка параметров сигналов АЛС к электронной карте участка и параметрам движения локомотива дает возможность получить и обработать сигналы АЛС, поступившие непосредственно в момент сбоя, что дает возможность с точностью