

конце рельсовой цепи можно пренебречь сопротивлением рельса в силу его малости. Удар молнии приходится в точку, не совпадающую с концами рельсовой цепи. В этом случае из уравнений длинной линии и закона электромагнитной индукции следует граничное условие третьего рода

$$u(l, t) - \frac{L}{L_0} \frac{\partial}{\partial x} u(l, t) = \varphi_1(x) = 0,$$

где L – индуктивность обмотки путевого трансформатора, Гн.

Начальное условие $u(x, 0) = 0$.

Полученное уравнение с заданными граничными и начальными условиями имеет аналитическое решение, приведенное в справочнике А. Д. Полянина. С учетом вида начальных и граничных условий решение записывается в виде

$$u(x, t) = \int_0^l \int_0^t f(\xi, \tau) G(x, \xi, t - \tau) d\xi d\tau,$$

где обозначено

$$G(x, \xi, t - \tau) = e^{-bt} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\|y_n\|^2} y_n(x) y_n(\xi) e^{-a\mu_n t}; \quad y_n(x) = \cos \mu_n x + \frac{k_1}{\mu_n} \sin \mu_n x;$$

$$\|y_n\| = \frac{k_1}{\mu_n^2} + \frac{l}{2} \left(1 + \frac{k_1}{\mu_n^2} \right); \quad f(x, t) = \frac{1}{G_0} \frac{\partial}{\partial t} j(x, t) - \frac{R_0}{L_0 G_0} j(x, t).$$

Числа μ_n – суть корни уравнения

$$\frac{\operatorname{tg}(\mu l)}{\mu} = \frac{2k_1}{\mu^2 - k_1^2}.$$

В решении обозначено $a = \frac{1}{L_0 G_0}$, $b = \frac{R_0}{L_0}$, $k_1 = \frac{L}{L_0}$.

Полученное решение представляет собой бесконечную сумму затухающих волн напряжения, следовательно, оно физически корректно. По сравнению с уже известными решениями, полученными методом преобразования Лапласа, предлагаемое решение записывается сразу во временной области, поэтому получение расчетных соотношений требует меньших затрат вычислительной работы. В нем учтены все параметры рельсовой цепи, в то время как в имеющихся решениях пренебрегается погонным сопротивлением цепи. Поэтому допустимо считать, что полученное решение имеет более высокую адекватность и может применяться на практике.

УДК 656.25

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ НА ЭТАПАХ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

В. Ф. КУСТОВ

Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков

На этапах разработки и эксплуатации микропроцессорных систем железнодорожной автоматики (МСЖА) важным является правильная оценка их функциональной безопасности (ФБ). Необходимо выделить основные особенности этой оценки.

1 Оценка ФБ зависит от достоверности исходных данных по надежности комплектующих изделий, от точного учета всех влияющих на них факторов, особенно при появлении новых воздействий в процессе эксплуатации, не учитываемых до этого при расчетах ФБ и допуске к эксплуатации систем.

2 В период эксплуатации могут появиться непрогнозируемые «ударные» нагрузки, не приводящие к отказам, но резко снижающие интенсивности опасных отказов элементов (из-за импульсных перенапряжений при отказе неконтролируемых элементов средств грозозащиты и помехоподавляющих фильтров; из-за кратковременного перегрева элементов при отказе или неправильно выбранных средств вентиляции или кондиционирования в шкафах управления и т.п.). Учитывая, что во многих случаях общая вероятность опасных отказов равна произведению вероятности опасных отказов отдельных каналов резервирования, она будет многократно и возможно недопустимо повышена.

3 При малых расстояниях между проводниками на печатных платах или разъемах (меньше допустимых значений) необходимо учитывать возможность короткого замыкания между ними. Поэтому при испытаниях на устойчивость к опасному отказу нужно моделировать при стендовых испытаниях такие замыкания и контролировать возможность появления опасных отказов как в каналах резервирования, так и в МСЖА в целом. В случае их фиксации необходимо разрабатывать меры для их гарантированного исключения. При отсутствии в этом случае опасных отказов может быть существенно и недопустимо повышена вероятность возникновения опасного отказа, поэтому для таких неконтролируемых замыканий необходимо составлять свою расчетно-логическую схему ФБ и по ней оценивать вероятность возникновения опасных отказов. Особенно это важно для МСЖА с высокой запыленностью, при наличии, например, проводящей угольной пыли на посту ЭЦ. Поэтому этот фактор требует для доказательства ФБ не только спецификации комплектующих элементов с их типами, но и открытый комплект конструкторской документации с расположением проводников на печатных платах, в разъемах и т.п. При этом особое внимание нужно уделять возможным коротким замыканиям смежных элементов, объединенных в одном корпусе (логические элементы, оптроны и т.п.).

4 При оценке ФБ резервированных структур необходимо выделить следующие особенности.

При этом основополагающим при расчете является правильная оценка ответственных функций, объектов контроля или управления МСЖА, которые условно можно разделить на два класса:

– 1-й – опасный отказ происходит в них при несанкционированном появлении сигнала (двигатель стрелочного перевода, лампа зеленого огня на светофоре, путевое реле, датчики счета осей подвижного состава при его выходе с путевого участка и т.п.);

– 2-й – опасный отказ в них происходит при несанкционированном пропадании сигнала (лампа красного огня на светофоре, датчики счета осей подвижного состава при его входе на путевой участок, датчики пожарной и другой сигнализации, датчики контроля опасного отказа в канале резервирования).

Для большинства случаев применения МСЖА единственным возможным вариантом структуры для обеспечения ее ФБ является нагруженное резервирование. С учетом введенной выше классификации для 1-го класса МСЖА необходимо для повышения ФБ использовать решающий элемент «И» для общего или отдельного нагруженного резервирования, а для мажоритарного резервирования « n » из « m » максимально повышать число « m ».

Для 2-го класса МСЖА для повышения ФБ необходимо использовать решающий элемент «ИЛИ» для общего или отдельного нагруженного резервирования, а для мажоритарного резервирования « n » из « m » максимально снижать число « n », т.е. решение принимать не по большинству, а по меньшинству (при этом слово «мажоритарное» теряет свой смысл).

Решающие элементы «И» и «ИЛИ» позволяют улучшать только ФБ или только готовность (односторонне). При этом повышение ФБ всегда приводит к снижению готовности МСЖА (безотказности по отношению к защитным отказам и пропускной способности поездов) и наоборот. Только решающий элемент мажоритарного резервирования « n » из « m » позволяет улучшать одновременно как ФБ, так и готовность МСЖА.

Использование для МСЖА, особенно с длительным сроком эксплуатации, реальных способов резервирования не решает вопросы достижения необходимой ФБ. Поэтому наиболее важным фактором влияния на повышение ФБ является использование периодического контроля исправности и своевременного устранения опасных отказов каналов резервирования.

Основополагающим при таком расчете являются вид ответственных функций, объектов контроля или управления, которые условно можно разделить на два типа: 1-й – с прогнозирующим фактором развития отказов (опасных отказов); 2-й – без прогнозирующего фактора развития отказов (опасных отказов). Для 1-го типа уменьшение времени периодического контроля всегда повы-

шает как ФБ, так и другие показатели свойств надежности. Для 2-го типа (наиболее массового в МСЖА) уменьшение времени периодического контроля приводит к повышению ФБ только в том случае, если расчетно-логические схемы ФБ будут иметь вид параллельного соединения или графы ФБ объектов будут иметь больше двух вершин. Для 2-го типа объектов при использовании общего и раздельного нагруженного резервирования будет повышаться только ФБ (при этом готовность не будет улучшаться, а даже будет ухудшаться) или только готовность (при этом ФБ наоборот будет снижаться). Одновременное повышение ФБ и готовности будет только при использовании любого мажоритарного или ненагруженного резервирования.

Расчетные формулы для определения предельно допустимых периодов контроля для обеспечения допустимых уровней ФБ для различных вариантов резервирования приведены в работах автора. Также выведены формулы для определения предельно допустимого времени устранения опасного отказа в отдельном канале резервирования и допустимой его наработки до опасного отказа в процессе постоянной эксплуатации, по которым принимается решение об оценке реальной ФБ и возможности эксплуатации МСЖА.

УДК 656.259.2:621.391.8:519.2

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КАНАЛОВ С РЕЛЬСОВЫМИ И ИНДУКТИВНО-РЕЛЬСОВЫМИ ЛИНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ ОТ ТЯГОВОГО ТОКА

В. Б. ЛЕУШИН, Ф. Р. АХМАДУЛЛИН

Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Основную роль в обеспечении безопасности и реализации графика движения поездов играют системы интервального регулирования движения поездов (СИРДП), первым звеном которых являются путевые датчики (ПД) – рельсовые цепи (РЦ) [2]. Учитывая, что РЦ подвержены влиянию помех, в частности от тягового тока и дестабилизирующих факторов, порождаемых изменениями климатических условий, и динамическому воздействию движущегося поезда, важным критерием надежности функционирования СИРДП является устойчивость работы РЦ. Сбои в функционировании СИРДП возникают, в частности, при воздействии помех в рельсовых линиях (РЛ) РЦ [3].

Разработка и проектирование РЦ, в элементную базу которых входят электромагнитные реле, всегда основывалось с учетом влияния только сосредоточенных по спектру помех в РЛ. В настоящее время при проектировании РЦ широко применяется микроэлектронная элементная база [4, 5], позволяющая применять современные методы обработки сигналов, и поэтому при разработке этого вида РЦ необходимо учитывать влияние всех видов помех в РЛ.

Современные РЦ являются составной частью каналов связи. Учитывая это, одним из решающих факторов сравнительной оценки РЦ является помехоустойчивость путевых приемников (ПП) [3].

Таким образом, при проектировании РЦ для определения их эффективности необходимо установить способность ПП РЦ обеспечить прием и обработку сигналов с заданным уровнем достоверности при наихудших условиях эксплуатации. В соответствии с целевой функцией РЦ предпочтнее следует отдать комплексной характеристике качества ПП – помехоустойчивости.

Развитие микропроцессорной элементной базы позволило при разработке новых и совершенствовании существующих РЦ применять имитационное моделирование (ИМ). На кафедре «АТС на железнодорожном транспорте» СамГУПС разработана ИМ помех в РЛ от тягового тока (рисунок 1) в среде *Simulink* пакета MATLAB на базе параметров помех, установленных в результате регистрации на участках Московской и Куйбышевской железных дорог при движении локомотивов серии ВЛ-10^У, ведущих составы массой от 1 тыс. до 5 тыс. т.

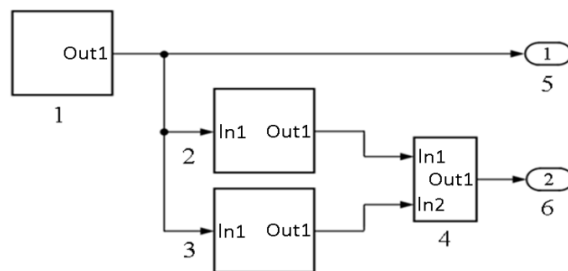


Рисунок 1 – ИМ помех в РЛ:

1 – модель переключений схем управления тяговыми электродвигателями электровоза; 2 и 3 – модели импульсных и флуктуационных помех; 4 – сумматор; 5 и 6 – выводные порты