

$$Sur = 1 - \sum_{k=0}^N \left[p^k \frac{(\lambda \pi r^2)^k e^{-\lambda \pi r^2}}{k!} \frac{\rho^{mk} / (mk)!}{\sum_{k=N}^0 \rho^k / k!} + \left(1 - \frac{(\lambda \pi r^2)^k e^{-\lambda \pi r^2}}{k!} \right) \frac{\rho^{m(N-k)} / (m(N-k))!}{\sum_{i=0}^{N-k} \rho^i / i!} \right]. \quad (5)$$

Таким образом, в докладе рассмотрен новый подход к решению задач живучести сетей мобильной связи, в котором используется распределение Пуассона. Предложенная методика позволяет приблизиться к объективной оценке живучести сети в условиях ЧС. Анализ результатов позволяет сделать вывод, что при большой вероятности отказа базовых станций значительно снижается живучесть сети мобильной связи. Увеличение плотности базовых станций повышает живучесть сети гораздо лучше, нежели увеличение радиоканалов в одной станции. Также для уменьшения вероятности потерь возможно провести анализ и расчет живучести для систем с ожиданием и дисциплин обслуживания с приоритетами.

УДК 656.25

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Д. В. ПРАКОПЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) состоят из большого числа всевозможных компонентов, каждый из которых подвержен влиянию негативных факторов, приводящих к сбоям в его работе. Такие сбои могут иметь катастрофические последствия. Поэтому исправное функционирование устройств ЖАТ является обязательным условием для обеспечения безопасности перевозочного процесса. Увеличение скоростей движения поездов, повышение объемов перевозимого груза и числа пассажиров, а также необходимость замены устаревшего оборудования приводят к развитию систем автоматики и телемеханики. Одним из самых перспективных путей развития является внедрение микропроцессорных устройств, в частности микроконтроллеров. Как и другие устройства ЖАТ, микроконтроллеры должны отвечать требованиям безопасности.

В контексте обеспечения безопасности микроэлектронных устройств, применяемых в системах автоматики и телемеханики, центральным понятием является функциональная безопасность. Функциональная безопасность – это часть общей безопасности системы, компонента системы или оборудования, работающих правильно в ответ на входные воздействия и обеспечивающих отсутствие неприемлемого риска здоровью людей, их собственности или окружающей среде со своей стороны. Требования к функциональной безопасности регламентируются соответствующими нормативными документами. Используемые стандарты функциональной безопасности рассматривают весь жизненный цикл электрических, электронных или программируемых электронных систем и изделий.

Основным стандартом по функциональной безопасности, используемым при сертификации микроконтроллеров, является ГОСТ Р МЭК 61508 «Функциональная безопасность электрических, электронных, программируемых электронных систем, относящихся к безопасности». Стандарт состоит из семи частей. Части 1–3 являются основными, в них приводятся общие требования к разработке систем, относящихся к безопасности, а также приведены стадии реализации аппаратного и программного обеспечения. Части 4–7 являются дополнительными, в них содержатся примеры методов для определения уровней полноты безопасности, руководство к применению первых трех частей, а также сокращения и определения. Для устройств железнодорожной автоматики и телемеханики применяется европейский стандарт EN 50126, состоящий из пяти частей. В них описываются требования и доказательство надежности, безотказности, ремонтпригодности и безопасности объектов железнодорожного транспорта. Также используется межгосударственный стандарт ГОСТ 34012–2016 «Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Общие технические требования».

Проверка микроконтроллеров на функциональную безопасность является трудоемким процессом. Даже относительно простые устройства обладают большим количеством компонентов и, как следствие, большим набором возможных отказов. Создание универсальных методов проверки также затрудни-

тельно из-за сильных различий в архитектуре микроконтроллеров. Эти факторы вынуждают производителей и организации по сертификации разрабатывать собственные методики и средства проверки.

Одной из таких компаний является BTSC-SPS-Motorola, которая разработала ряд методик для проверки микроконтроллеров собственного производства. Создание единой эффективной методики было невозможным, так как некоторые методы проверки хорошо подходят для очень больших устройств, но из-за сложности они не эффективны для более простых устройств. В качестве примера приведена методика проверки 8-битного микроконтроллера. При разработке устройства используется принцип повторного использования блоков, реализующих широкий спектр возможностей. К ним относятся таймеры, цифро-аналоговые и аналогово-цифровые преобразователи и так далее. Эти блоки являются интеллектуальной собственностью компании и известны как виртуальные компоненты. Такой подход позволяет ускорить процесс разработки нового микроконтроллера, так как достаточно объединить виртуальные компоненты и ядро с помощью логических связей. Для проведения проверки составляются наборы входных и выходных данных на основе спецификации каждого виртуального компонента. Эти шаблоны переводятся на язык ассемблера. На тестовом стенде создается модель микроконтроллера на языке Verilog, после чего проводится проверка с использованием подготовленных ранее наборов данных. Результаты проверки заносятся в базу данных для каждого виртуального компонента, это упрощает процесс создания тестовых данных в будущих проектах.

Не все производители микроконтроллеров сами выполняют сертификацию своего продукта на соответствие требованиям стандартов. Вместо этого используются услуги организаций, специализирующихся на экспертизах, испытаниях и сертификации (например, компания TUV SUD, которая является одной из ведущих в этой области).

Главная цель проведения проверки – является подтверждение достигнутого уровня безопасности. Проверка на функциональную безопасность представляет собой комплекс мероприятий по подтверждению количественных и качественных показателей функциональной безопасности в соответствии с заявленными разработчиком системы требованиями.

Проведение проверки микроэлектронных устройств с внесением отказов на аппаратном уровне требует значительных затрат материальных и временных ресурсов на имитацию отказов и их устранение. Применение имитационных моделей являются более подходящим вариантом как по затратам, так и по удобству обработки результатов и скорости проведения проверки.

Цель имитационных испытаний на функциональную безопасность – подтвердить, что испытываемое микроэлектронное устройство или система при возникновении заданного класса отказов аппаратных и программных средств и внешних датчиков, а также неправильных действиях оператора не формирует сигналы управления, нарушающие условия безопасности.

Отсутствие универсальных и эффективных методик проведения проверки микроэлектронных устройств на функциональную безопасность, а также большие затраты, при использовании для этой цели самих устройств, стали толчком для разработки программного «Комплекса для проведения имитационных испытаний микропроцессорных систем железнодорожной автоматики на функциональную безопасность» (КИИБ) в лаборатории «Безопасность и электромагнитная совместимость технических средств» Белорусского государственного университета транспорта.

Комплекс программных средств КИИБ предназначен для проведения ускоренных имитационных испытаний на функциональную безопасность в соответствии с приведенными выше стандартами.

К основным возможностям КИИБ можно отнести способность контролировать:

- наличие одиночных и кратных отказов технических средств;
- наличие ошибок программных средств;
- устойчивость функционирования при воздействии электромагнитных помех и при искажениях входных сигналов;
- уровень обнаружения отказов и сбоев заданной кратности средствами контроля и диагностики;
- возможность накопления отказов заданной кратности во внутренней структуре;
- тип искажения вычислительного процесса при наличии отказов технических средств.

Комплекс позволяет выявить на стадии разработки и испытаний программно-технических средств наличие аппаратных и программных компонентов, отказы и сбои которых могут нарушить функциональную безопасность системы.

В настоящее время комплекс имитационных испытаний безопасности частично соответствует требованиям международных стандартов в области функциональной безопасности. Последняя редакция стандарта ГОСТ Р МЭК 61508 содержит новые требования к ошибкам и отказам, которые должны

предполагаться при определении случайных отказов аппаратного обеспечения или которые должны учитываться при определении доли безопасных отказов. Введение данных требований привело к невозможности использования комплекса для проведения испытаний, так как имеющихся функций недостаточно для достижения требуемого уровня диагностического охвата. В связи с этим необходимо провести модернизацию комплекса путем структурного изменения программного обеспечения, в частности, изменения способа дешифрации команд. Целью этих изменений является возобновление использования комплекса для проведения испытаний микроэлектронных устройств на функциональную безопасность.

УДК 656.254.16

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ КООРДИНАТНЫХ СИСТЕМ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ТОЧЕЧНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ

П. П. РУБАНИК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Процесс совершенствования систем интервального регулирования движения поездов (СИРДП) имеет следующие основные цели:

- увеличение скорости движения;
- увеличение пропускной способности линий (обеспечение минимального интервала попутного следования);
- повышение безопасности движения;
- снижение затрат на установку и обслуживание напольной аппаратуры.

Безопасность движения достигается обеспечением расстояния между двумя попутно следующими поездами, достаточного для своевременного торможения и исключения их столкновения. Пропускная способность требует минимально возможного интервала попутного следования. Таким образом, требования безопасности движения и требования пропускной способности касательно интервала попутного следования взаимно противоположны. Исходя из этого задачей СИРДП является обеспечение такого интервала попутного следования, который гарантирует безопасность движения и максимально возможную пропускную способность при наименьших капитальных и эксплуатационных затратах.

Достигнуть вышеперечисленных целей позволяют СИРДП с координатным принципом регулирования, основой которого является информация на сзади идущем поезде о расстоянии до хвоста впереди идущего поезда о характеристиках пути и тормозных параметрах обоих поездов для обеспечения своевременной остановки.

В настоящее время применяются следующие способы координатного регулирования движения:

- на хвост впереди идущего поезда;
- занятую рельсовую цепь.

Регулирование движения на хвост впереди идущего поезда обеспечивает один из наименьших интервалов попутного следования. Данный подход применяется в системах ERTMS/ETCS уровня 3 и ITCS. В идеале минимально возможные расстояния между поездами зависят от скорости, тормозных характеристик сзади идущего поезда, характеристик пути и точности определения координаты хвоста впереди идущего поезда. В реальности трудно определить точный тормозной путь поезда, так как он зависит от множества случайных факторов, и точную координату. Поэтому в системах, которые используются на практике, для обеспечения требований безопасности вводят защитный участок и доверительный интервал для оценки местоположения хвоста поезда. Также критичным при таком способе координатного регулирования является контроль целостности подвижного состава (необходимо оборудовать хвостовой вагон в каждом поезде специальным датчиком).

Регулирование движения поездов на занятую рельсовую цепь является наиболее распространенным и удобным способом, так как рельсовые цепи позволяют контролировать целостность состава и местоположение хвоста с точностью до последней занятой рельсовой цепи. Однако в целях обеспечения безопасности вводится дополнительная защитная рельсовая цепь (защитный участок), а также на перегонах используются достаточно короткие тональные рельсовые цепи без изостыков, которые имеют зону дополнительного шунтирования, что «размывает» точные границы рельсовых цепей. Это вызыва-