

ет увеличение допустимого интервала попутного следования до хвоста впереди идущего поезда и, следовательно, уменьшение пропускной способности. Также при таком способе координатного регулирования за счет применения рельсовых цепей увеличиваются капитальные и эксплуатационные затраты.

Таким образом, способ координатного регулирования движения поездов на хвост впереди идущего поезда является более трудно реализуемым с точки зрения безопасности, но более приемлемым по требованиям пропускной способности и экономической эффективности.

Применение точечных приемо-передатчиков (ТПП) на основе RFID-технологий позволит повысить эффективность и безопасность обоих способов координатного регулирования движения поездов за счет следующих факторов.

1 Низкая надежность систем спутниковой навигации и недостаточная точность датчиков пути и скорости определяют необходимость комплексирования данных от нескольких источников информации для получения координат «головы» и «хвоста» подвижного состава. Вместе с этим значение оценки координаты надо корректировать поступающими практически безошибочными данными. В качестве таких данных можно использовать ТПП, расположенные на некотором приемлемом с точки зрения эффективности и экономичности расстоянии.

2 С помощью ТПП можно точно фиксировать границы тональных рельсовых цепей, что позволит повысить эффективность регулирования движения на занятую рельсовую цепь.

3 ТПП могут передавать на локомотив все известные характеристики пути, которые требуются для расчета тормозного пути (в том числе информацию о кривых участках пути, ограничениях скорости и т. д.).

4 Применение ТПП на станционных путях позволит определять на каком именно пути находится подвижной состав в настоящий момент.

5 Создание и применение достаточно простых и недорогих ТПП, которые расположены на пикетах через достаточно короткие расстояния, может позволить обновлять на локомотиве электронную карту во время поездки без применения цифрового радиоканала.

УДК 004.021

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ОТКАЗОВ НА ОСНОВЕ ДОСТУПНОСТИ АДРЕСНЫХ ДАННЫХ**

*Б. В. СИВКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современные микропроцессорные устройства железнодорожной автоматики и телемеханики, входящие в состав систем обеспечения безопасности движения поездов (СОБД) относятся к системам, связанным с безопасностью (*safety-critical systems*, ССБ), и к ним предъявляются соответствующие требования. Для обеспечения надлежащего уровня безопасности задействуется множество взаимодополняющих методов и средств, которые должны, в частности, решать проблему обнаружения аппаратных отказов, и данное требование регламентируется стандартом ИЕС 61508.

Одним из способов обнаружения отказов микропроцессорных систем является метод обнаружения отказов на основе доступности адресных данных. При его применении происходит выбор некоторого множества адресов, зависящего от проверяемого множества отказов. Идея метода заключается в том, что при отказе один из адресов становится недоступным и это позволяет системе определить факт отказа, а далее перейти в безопасное состояние или запустить процедуры самовосстановления.

В докладе рассматривается два характерных примера применения данного метода: для обнаружения отказов программного счётчика и адресной шины.

Обнаружение отказов программного счётчика (первый пример) осложнено тем, что их проявление приводит к практически непредсказуемому поведению алгоритма. Более того, некоторые отказы приводят к остановке программы (например, константный отказ младшего бита регистра). Как следствие – проблема не может быть полностью решена только программными методами. В то же время программный счётчик выполняет функцию адресации, так как содержит адрес последующей выполняемой команды, которая хранится во внешней памяти. В докладе рассматривается система

обнаружения отказов для константных отказов всех бит регистра и отказов короткого замыкания для всех смежных бит регистра, что согласуется с требованиями стандартов EN 50129 и IEC 61508.

Также рассматривается выбор пары адресов  $A_1$  и  $A_2$ , по которым помещаются ключевые команды, реализующие переменный сигнал на внешнее устройство. Далее предлагается два варианта интеграции с существующим программным обеспечением, в контексте которых рассматривается применение метода на определённой архитектуре и особенности того или иного выбора.

Второй пример рассматривает обнаружение отказов адресной шины. По своим свойствам микропроцессорная шина отличается от регистра: у неё нет ячеек для хранения информации, но при этом доступны операции чтения и записи. Функционально шина соединяет элементы микропроцессора и служит для передачи данных между ними, и это взаимодействие можно использовать для обнаружения отказов шины. В то же время отказы адресной шины проявляют себя подобно отказам адресных ячеек памяти: если происходит константный отказ нуля младшего бита шины, то это приводит к постоянному чтению нуля с соответствующей цифровой линии. Поэтому из-за отказа будет происходить обращение к другой ячейке памяти.

Проверка адресной шины происходит в два этапа: инициализации и времени выполнения. На первом из них необходимо удостовериться, что адресная шина находится в рабочем состоянии и все адреса правильно отображаются. Например, это можно сделать по рассматриваемому методу согласно следующему алгоритму:

- 1) запись константы 0 во все ячейки заданного адресного диапазона;
- 2) для каждого адреса (т. е.,  $N$  раз), один раз выполнить чтение значения по адресу и, если прочитан не 0, то адресная шина имеет отказ. Иначе записать единицу по рассматриваемому адресу;
- 3) если предыдущие действия не выявили отказов адресной шины, то она исправна.

Далее на втором этапе выбирается два адреса  $A_1$  и  $A_2$  по аналогичным принципам, как и в примере программного счётчика. Перед запуском основного цикла программы по этим адресам записывается некоторое значение  $K$ . В последующем во время основной работы программы данное значение сверяется при чтении по адресам  $A_1$  и  $A_2$ . В докладе дополнительно рассматриваются адаптации описанного метода для более приемлемых для разработчиков решений, так как не всегда программа может позволить не использовать число  $K$ , а также не всегда возможно разделить адресное пространство на три части с границами по адресам  $A_1$  и  $A_2$ .

На втором примере показывается, что метод обнаружения отказов на основе доступности адресных данных может использоваться для адресной шины микропроцессора, что метод адаптируем к прикладным потребностям разработчиков и верификаторов, может интегрироваться с другими методами и подходами, и также что он не зависит от микропроцессорной архитектуры.

Таким образом, в докладе рассматриваются характерные микропроцессорные адресные элементы: программный счётчик и адресная шина, отличающиеся от регистров общего назначения микропроцессоров. На их примере показано, что метод обнаружения отказов на основе доступности адресных данных может быть использован для множества устройств адресации совместно с другими методами обнаружения отказов.

Адресные элементы повсеместно входят в состав микропроцессорных систем и для СОБД подлежат обязательной верификации и проверке в реальном времени. Описанный метод и его примеры показывают, что он позволяет решать различные ключевые задачи обеспечения отказоустойчивости и безопасности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

УДК 656.25

## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ**

*С. Н. ХАРЛАП*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время системы управления движением поездов активно оснащаются сложными технологическими комплексами и оборудованием с широким использованием информационных технологий. Важнейшей характеристикой таких систем является функциональная безопасность,