

УДК 681.5:656.257

И.А. ФУРМАН, М.Л. МАЛИНОВСКИЙ

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. Петра Василенко, Украина*

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ И СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ НА МЕТРОПОЛИТЕНАХ

Рассмотрена перспективная концепция разработки безопасной системы автоматизированного управления движением поездов. Представлена структурная организация системы, описаны методы обеспечения функциональной безопасности и принципы построения объектных безопасных логических контроллеров параллельного действия.

микроэлектронная система централизации, функциональная безопасность, безопасные логические контроллеры параллельного действия, программируемые логические интегральные схемы

Введение

Несмотря на большие усилия, прикладываемые к разработке научных основ реализации алгоритмов управления с применением микропроцессорной и микроэлектронной элементной базы, значительная часть систем автоматизированного управления на ж.-д. транспорте и метрополитенах (в том числе систем централизации) построена с использованием давно известной идеологии на базе безопасных дискретных элементов – реле 1-го класса надежности. Это обусловлено наличием ряда проблем, связанных с необходимостью обеспечения высоких показателей функциональной безопасности, электромагнитной совместимости, снижения вероятности появления сбоев (в том числе - по вине "зависания" процессоров), а также отсутствием единой общепризнанной концепции построения таких систем, что приводит к необходимости больших затрат времени и средств на их разработку и сертификацию.

Таким образом, на сегодняшний день являются актуальными задачи совершенствования методов и средств управления объектами микроэлектронных и микропроцессорных систем централизации на ж.-д. транспорте и метрополитенах, а также технологии разработки, проектирования и эксплуатации этих систем.

Обзор публикаций. Идеология и методы построения безопасных микроэлектронных систем ж.-д. автоматики описаны в [1 – 4]. Методы безопасного сопряжения исполнительных механизмов с микроэлектронными системами управления рассмотрены в [1, 2, 5]. Теория синтеза безопасных систем ж.-д. автоматики приведена в [3]. Теория построения самопроверяемых управляющих автоматов описана в [6]. Проблемы безопасности программного обеспечения микропроцессорных систем рассмотрены в [2, 7]. Требования и методы испытаний микроэлектронных и микропроцессорных комплексов и систем и доказательства их функциональной безопасности и электромагнитной совместимости описаны в [8, 9]. Указанные работы легли в основу разработки современных микропроцессорных систем централизации (МПЦ). Вместе с тем, массового распространения данные разработки не получили, и связано это с наличием у них общих недостатков, существенно снижающих эффективность их практического использования.

Недостатки современных МПЦ.

С точки зрения эксплуатации:

1. Сложность структурной организации и программного обеспечения. Следует признать, что по сравнению с релейными системами, МПЦ сильно

проигрывают с точки зрения наглядности принципов реализации алгоритмов логического управления, а тем более обеспечения функциональной безопасности. В результате этого, для текущего обслуживания, ремонта, изменения конфигурации современных МПЦ необходима подготовка и привлечение специалистов с высокой квалификацией как в области систем ж.-д. автоматики, так и в области программирования, что требует не только значительных материальных затрат, но и длительного времени.

2. Высокая стоимость внедрения МПЦ, а также ее ремонта в случае выхода из строя отдельных функциональных узлов системы. На сегодняшний день стоимость некоторых систем МПЦ превышает стоимость релейных систем централизации практически на порядок. Проблема усугубляется еще больше, если учитывать, что в случае выхода из строя специализированного оборудования (как правило импортного производства), его замена будет стоить несоизмеримо больше замены традиционного реле. При этом не следует забывать, что замена такого устройства, как микроконтроллер, требует обновления программного обеспечения и проверки правильности выполнения соответствующих алгоритмов. Кроме того, специализированное оборудование импортного производства через несколько лет после внедрения системы может быть снято с производства, что может привести к дополнительным трудностям.

4. Использование в программном обеспечении многих МПЦ языка релейно-контактных символов (РКС). Многие разработчики представляют это как достоинство, позволяющее придать программе вид, соответствующий существующим принципиальным электрическим схемам релейных систем централизации. Вместе с тем, использование языка РКС характеризуется серьезным противоречием. Одним из важных преимуществ применения программируемых управляющих устройств является отсутствие

необходимости разработки релейных электрических схем, тогда как использование языка РКС вынуждает разработать релейный вариант электрической схемы, привести ее к некоторому нормализованному виду и только затем приступить к программированию. То есть имеет место не замена, а дополнение разработки электрических схем программированием. Кроме того, язык РКС нельзя считать перспективным, поскольку новое поколение специалистов следует ориентировать на работу с такими алгоритмическими языками и языками программирования, синтаксис которых адаптирован к соответствующим технологическим объектам (например, в виде таблицы взаимозависимостей стрелок и сигналов) и математическим моделям, описывающим их функционирование (например, в виде конечных автоматов).

С точки зрения разработки:

1. Сложность доказательства безопасности и электромагнитной совместимости аппаратных и программных средств. При этом возникают дополнительные сложности с сертификацией, поскольку на сегодняшний день в Украине отсутствуют организации, занимающиеся подтверждением соответствия программных продуктов критериям безопасности.

Помимо перечисленных недостатков необходимо отметить, что разработчиками современных систем автоматизированного управления движением поездов явно недооцениваются и практически не используются преимущества в быстродействии и живучести регулярных микроэлектронных структур, и в первую очередь такой перспективной элементной базы на их основе как программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Кроме того, при разработке МПЦ, как правило, недостаточно эффективно используются возможности импульсного парафазного кодирования информации; ограниченно используются методы многоверсионной избыточности (как аппаратной, так и программной); крайне

ограниченно используются методы явно выраженной параллельной обработки информации и т.д.

Постановка задачи исследования. Задачей данного исследования является совершенствование методов и средств управления объектами микроэлектронных систем централизации путем разработки концепции построения комплексной системы управления движением поездов (КСАУ ДП) на метрополитенах.

Основные положения концепции

1. В основу концепции положен комплексный подход к разработке КСАУ ДП, охватывающий все уровни иерархической структуры (от систем визуализации и телеуправления до исполнительных механизмов) с применением модульного принципа построения системы на основе стандартных взаимозаменяемых функциональных блоков.

2. Для реализации логических условий управления объектами КСАУ ДП используются специально разработанные безопасные логические контроллеры параллельного действия (БЛК ПД) с простой 2-х канальной структурой и ограниченным набором функций.

3. Реализация логических функций выполняется аппаратно на основе ПЛИС.

4. Структура КСАУ ДП является распределенной, для управления каждым объектом системы (стрелкой, стрелочным съездом, светофором) используется отдельный БЛК ПД.

5. Объединение БЛК ПД в сеть реализуется аппаратно с использованием параллельного асинхронного интерфейса, обеспечивающего циклическую адресацию данных.

6. Высокий уровень достоверности обработки информации обеспечивается многократной проверкой правильности принятия управляющих решений (16-ти кратная проверка в течение 1 мс).

7. Исключение возможности "зависания" БЛК ПД и необходимый уровень быстродействия обеспечиваются за счет применения асинхронных одно-

тактных автоматов для логической обработки входных сигналов.

8. Функциональная безопасность обеспечивается за счет использования импульсного парафазного кодирования информации, двухканальной аппаратной реализации логических функций, применения безопасных принципов сопряжения микроэлектронных структур с исполнительными механизмами.

Иерархическая структура КСАУ ДП

Иерархическая структура КСАУ ДП представлена на рис. 1. КСАУ ДП содержит следующие уровни иерархии:

1. Системы телеуправления (ТУ) и визуализации. На данном уровне находятся автоматизированные рабочие места дежурного по посту централизации (АРМ-ДСЦП) и электромеханика (АРМ-ШН), а также контрольный пункт телеуправления (КПТУ), обеспечивающий обмен данными между верхним и нижними уровнями иерархии.

2. Блочную микроэлектронную систему централизации (БМСЦ), в состав которой входят уровни наборной и исполнительной групп. БМСЦ предназначена для опроса состояния и формирования решений по управлению объектами КСАУ ДП. БМСЦ содержит блоки управления наборной (БУн) и исполнительной (БУи) групп, которые представляют собой объектные БЛК ПД, выполняющие следующие функции:

- БУн - предназначены для фиксации действий дежурного по посту централизации (поездного диспетчера) и формирования заданий на установку маршрутов (в том числе с применением авторежимов);

- БУи - предназначены для проверки условий безопасности и формирования решений по управлению объектами КСАУ ДП.

3. Модули сопряжения БМСЦ с объектами КСАУ ДП: бесконтактные модули управления стрелками БМУ-С, сигналами светофоров БМУ-СС, пригласительными сигналами БМУ-ПС.

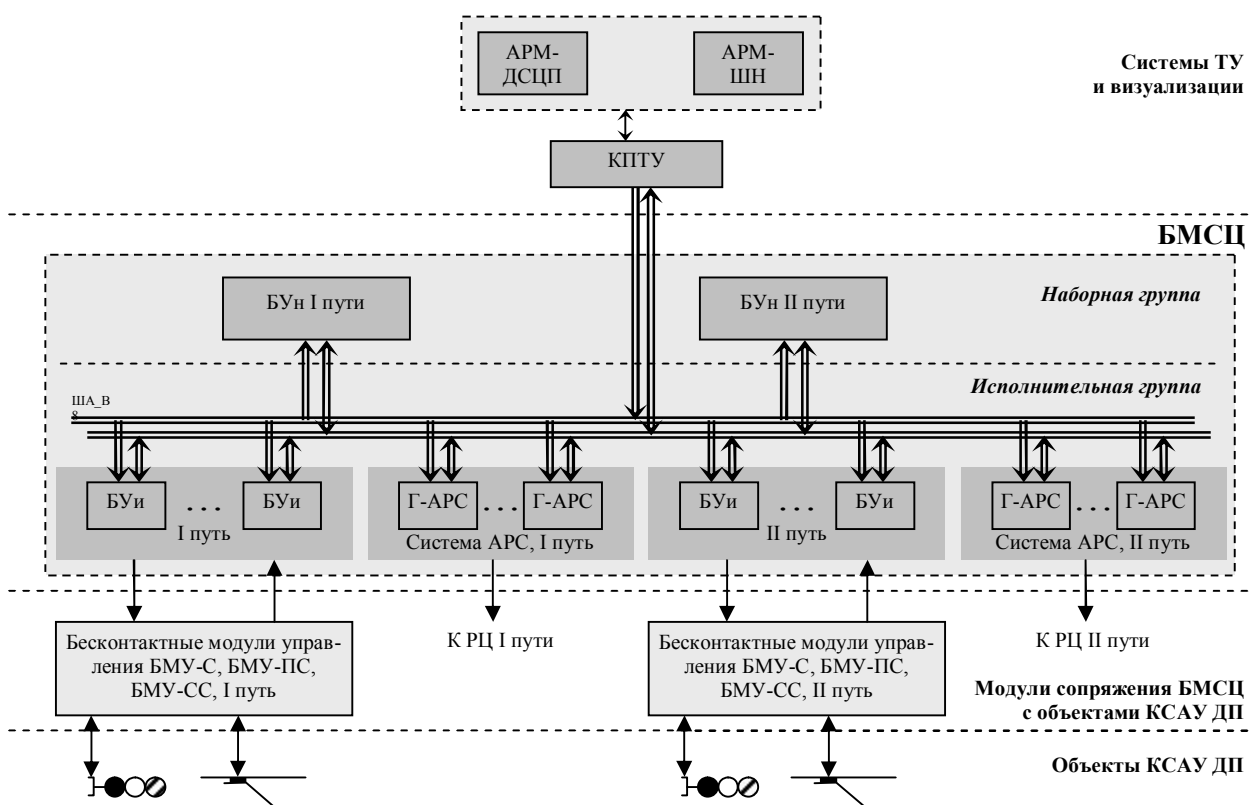


Рис. 1. Иерархическая структура КСАУ ДП

4. Объекты КСАУ ДП, к которым относятся стрелки, сигналы светофоров, пригласительные сигналы и рельсовые цепи (РЦ).

Структурные схемы блоков БУ

Структурная схема блока управления БУн представлена на рис. 2. Блок содержит два независимых канала обработки информации (каналы А и В). Каждый канал включает:

- устройства гальванической развязки (УГР);
- асинхронный безопасный логический контроллер (БЛК) параллельного действия, адаптированный к обработке импульсных парафазных сигналов, который реализован на основе кристалла ПЛИС;
- схему сравнения СхСр, которая предназначена для проверки соответствия результатов обработки информации каналами А и В и анализа импульсного режима работы сигналов;
- генератор CLK.

Блок БУн работает следующим образом. Обмен информацией осуществляется через параллельный асинхронных интерфейсов. Адресация выполняется

циклически при помощи 8-ми разрядной шины адреса (ША).

Данные в виде дискретных сигналов поступают по шине данных (ШД) на входы БЛК каналов А и В. При этом выполняется импульсное парафазное кодирование информации, что обеспечивает безопасную реакцию КСАУ ДП на сбой в системе

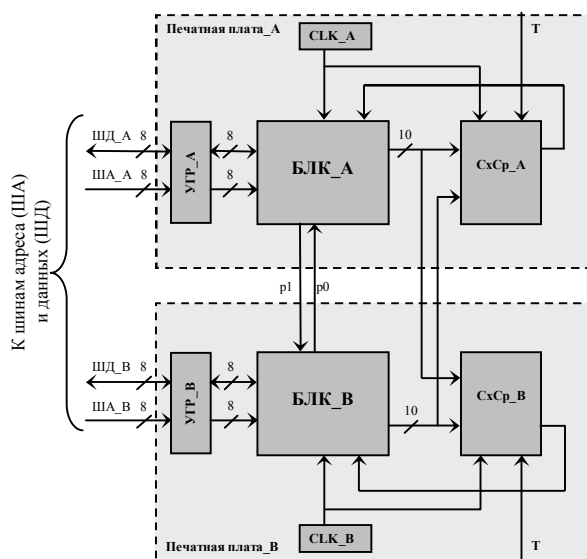


Рис. 2. Структурная схема блока БУн

адресации, выход из строя устройств гальванической развязки и т.д.

БЛК осуществляют параллельную (однотактную) обработку информации и формируют две группы импульсных парафазных сигналов, поступающих на схемы сравнения СхСр. Схемы сравнения СхСр осуществляют сравнение и 16-ти кратную проверку правильности формирования решений контроллерами БЛК_А и БЛК_Б, затем анализируют импульсный характер работы сигналов, после чего формируют данные, поступающие по цепи обратной связи к соответствующим БЛК. Структурная схема блока управления исполнительной группы БУи (рис. 3), помимо перечисленных функциональных узлов, также содержит входные и выходные УГР для обеспечения опроса состояния датчиков и формирования сигналов для управления объектами КСАУ ДП.

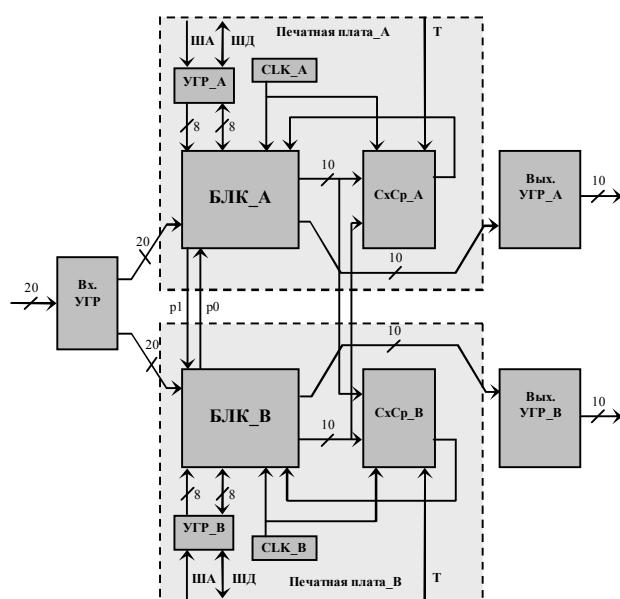


Рис. 3. Структурная схема блока БУи

Преимущества КСАУ ДП

1. Распределенная структура КСАУ ДП, которая позволяет существенно увеличить живучесть системы, а также максимально упростить функциональные узлы и обеспечить короткое время обнаружения и устранения неисправностей путем замены стандартных блоков.

2. Как известно, затраты на тестирование имеют экспоненциальную зависимость от объема (стоимости) выпуска систем автоматизированного управления. Таким образом, построение системы в виде стандартных функциональных блоков, каждый из которых реализует набор простых логических уравнений (не более 30), значительно снижает стоимость тестирования (как одного из этапов доказательства безопасности) и обеспечивает возможность использования простейших и достоверных методов самодиагностики.

3. Аппаратная реализация логических условий безопасности, за счет чего существенно повышается надежность и упрощается доказательство функциональной безопасности отдельных блоков и системы в целом. При этом отсутствует необходимость доказательства безопасности программных продуктов.

4. Импульсное парафазное кодирование информации обеспечивает качественную безопасность на уровне согласования исполнительных механизмов и микросистемных структур, что позволяет свести доказательство безопасности системы КСАУ ДП к доказательству безопасности реализации логических уравнений на основе ПЛИС.

5. Параллельная обработка информации, которая позволяет: исключить возможность "зависания" блоков управления; обеспечить параллельную асинхронную реализацию булевых функций; исключить необходимость использования специальных методов синхронизации резервируемых каналов; существенно снизить вероятность появления сбоев за счет многократной проверки правильности принятия управляющих решений; значительно повысить быстродействие; реализовать самопроверяемые структуры управляющих автоматов, адаптированных к обработке импульсных парафазных сигналов.

6. Полная ремонтпригодность в условиях ремонтно-технологического участка метрополитена. Все функциональные узлы системы реализованы на основе серийно выпускаемой элементной базы, ко-

торая имеет низкую стоимость и широко доступна на рынке.

7. Высокие экономические показатели КСАУ ДП. Стоимость внедрения КСАУ ДП, в отличие современных микропроцессорных систем централизации, не превышает стоимости системы маршрутно-релейной централизации, и не требует периодической проверки и ремонта в условиях ремонтно-технологического участка.

Выводы

Обеспечение безопасности управления объектами систем автоматизации в промышленности и на транспорте всегда было и будет одним из важнейших требований к управляющим системам критического назначения. При поиске эффективных методов решения проблемы обеспечения безопасности управления следует учитывать и использовать, с одной стороны, известные принципы построения высоконадежных и быстродействующих управляющих автоматов, и, с другой стороны, имеющиеся на сегодняшний день стремительные тенденции развития интегральных технологий, которые способствуют широкому применению всевозможных методов распараллеливания алгоритмов управления, использованию принципов асинхронной обработки информации, реализации самопроверяемых структур управляющих автоматов и т.д. В связи с этим, безопасные логические контроллеры параллельного действия, реализованные на основе ПЛИС, следует рассматривать как одно из наиболее перспективных средств для решения рассматриваемых задач.

Литература

1. Лисенков В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов. – М.: ВИНТИ РАН, 1999. – 322 с.

2. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, Х.А. Христов, Д.В. Гавзов; Под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1995. – 272 с.

3. Мойсеєнко В.І. Мікропроцесорні системи залізничної автоматики. Част. 1. Централізація стрілок та сигналів. – Х.: Транспорт України, 1999 – 148 с.

4. Сапожников В.В., Кравцов Ю.А., Сапожников Вл.В. Теория дискретных устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Под ред. В.В. Сапожникова, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: УМК МПС России, 2001. – 312 с.

5. Дрейман О.К., Гавзов Д.В., Илюхин М.В. Сопряжение микропроцессорных систем железнодорожной автоматики с напольными объектами // Автоматика, телемеханика и связь. – 1990. – № 12. – С. 14-17.

6. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Дискретные автоматы с обнаружением отказов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1984. – 112 с.

7. Горелик А.В. Проблемы безопасности программного обеспечения микропроцессорных систем // Автоматика, связь, информатика. – 2003. – № 8. – С. 24-26.

8. ДСТУ 4151-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Електромагнітна сумісність.

9. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність.

Поступила в редакцию 30.01.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаев, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко, Харьков.