

УДК 681.518.5:004.052.32

А. Б. Никитин, д-р техн. наук
А. Н. Ковкин, канд. техн. наук
В. А. Соколов

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, Санкт-Петербург

Н. А. Журавлева, д-р экон. наук

Кафедра «Экономика транспорта»
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, Санкт-Петербург

ПРИНЦИПЫ БЕЗОПАСНОГО СОПРЯЖЕНИЯ С ОБЪЕКТАМИ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Рассмотрены методы построения устройств сопряжения для микропроцессорных систем железнодорожной автоматики с использованием различной элементной базы и принципов обеспечения безопасности при возникновении отказов, дана сравнительная характеристика различных подходов к реализации безопасных устройств сопряжения с учетом современных достижений в области силовой электроники. Особое внимание уделено вопросам выбора технических решений с учетом специфики исполнительных объектов, требований к используемой элементной базе и особенностей полигона внедрения системы.

релейные устройства сопряжения, бесконтактные устройства сопряжения, устройства включения исполнительных реле, неконтролируемое реле, силовое реле, контроль исправности коммутационных элементов.

DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-2-186-201

Введение

Развитие систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) на современном этапе немислимо без широкого использования вычислительной техники. Работа железнодорожного транспорта включает в себя реализацию ответственных технологических процессов, непосредственно связанных с движением поездов, поэтому при разработке новых СЖАТ первостепенное внимание уделяется вопросам обеспечения безопасности. В соответствии с общепринятой терминологией компьютерные СЖАТ, непосредственно связанные с безопасностью движения поездов, принято разделять на релейно-процессорные и микропроцессорные системы. Последние отличаются тем, что реализация алгоритмов управления,

связанных с безопасностью, осуществляется на уровне программного обеспечения, и представляют на сегодняшний день перспективное направление развития железнодорожной автоматики.

Основной проблемой, возникающей в ходе разработки подобных систем, является обеспечение безопасности функционирования в условиях использования компонентов, обладающих симметричной характеристикой отказов. Данная проблема актуальна как для управляющего вычислительного комплекса (УВК), так и для устройств, обеспечивающих сопряжение вычислительных средств с исполнительными объектами (УСО).

Безопасная работа УВК достигается путем многоканальной обработки информации в сочетании с различными способами контроля идентичности функционирования вычислительных средств. Безопасность функционирования УСО может достигаться самыми различными методами. Данному вопросу посвящено большое количество трудов отечественных и зарубежных ученых и специалистов [1, 2]. На начальном этапе развития безопасных УСО основное внимание было сосредоточено на проблеме безопасного поведения устройств при возникновении различных неисправностей собственной элементной базы. Широкое внедрение микропроцессорных систем на сети железных дорог требует несколько иного подхода, основу которого составляет всесторонний анализ эффективности технических решений безопасных УСО, учитывающий особенности конкретного наполненного оборудования и специфику полигона внедрения системы.

1. Элементная база устройств сопряжения и принципы обеспечения безопасного функционирования при отказах

Основным требованием к любому УСО является реализация энергетического согласования управляющих вычислительных средств с исполнительными объектами (ИО). Для коммутации цепей ИО в современных системах автоматики широко используются электромеханические приборы (электромагнитные реле, контакторы) и разнообразная полупроводниковая элементная база. Спецификой железнодорожной автоматики является необходимость исключения опасных ситуаций при возникновении различных неисправностей, что накладывает особые условия на используемую элементную базу и схемные решения. Основные принципы обеспечения безопасности УСО представлены на рис. 1.

При всем разнообразии элементной базы, применяемой для построения безопасных УСО, используемых на железнодорожном транспорте, можно выделить два основных класса устройств сопряжения: *релейные* и *бесконтактные* [1, 2]. В релейных устройствах сопряжения (рис. 2) в цепях ИО всегда присутствуют контакты исполнительных реле (ИР). В некоторых случаях совместно с реле могут применяться полупроводниковые

элементы. Основным критерием, определяющим принадлежность устройств сопряжения к категории релейных, является то, что реле в них является элементом, обеспечивающим безопасность функционирования при отказах. Полупроводниковые компоненты могут использоваться для облегчения условий работы релейных контактов и рассматриваются как средство повышения надежности и долговечности устройств. Управление ИР осуществляется с помощью безопасных электронных схем, традиционно называемых устройствами включения исполнительных реле (УВИР).

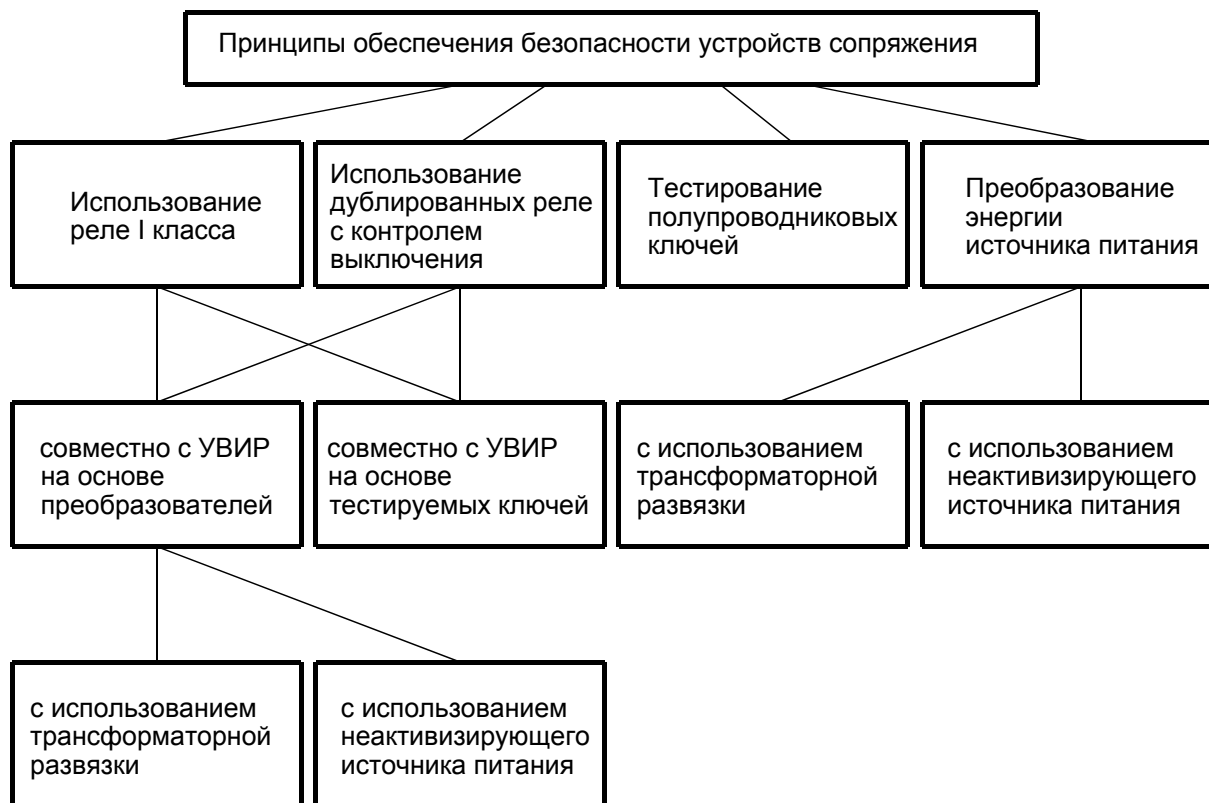


Рис. 1. Классификация УСО по принципам обеспечения безопасности

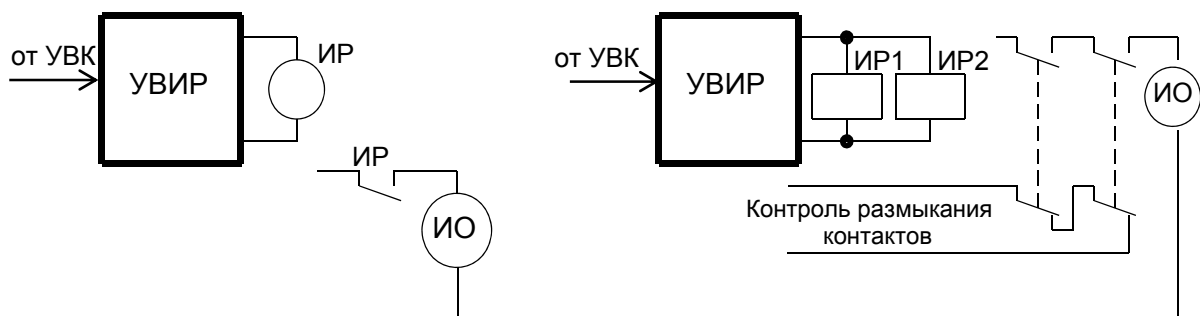


Рис. 2. Релейные устройства сопряжения

В отечественной практике основой релейных УСО являются реле первого класса надежности, поскольку они позволяют наиболее легко обеспечить достижение требуемого уровня безопасности. В зарубежных разработках можно встретить технические решения на основе силовых реле, не имеющих основных признаков реле первого класса [3, 4]. Необходимый уровень безопасности функционирования таких устройств достигается дублированием реле и наличием контроля фактического размыкания контактов, обеспечивающих подачу питания на исполнительный объект. В основе данной концепции лежит тезис, состоящий в том, что ложное срабатывание любого электромагнитного реле вследствие собственного отказа является маловероятным событием. Поэтому необходимый уровень безопасности может быть достигнут путем последовательного включения в цепь исполнительного объекта контактов двух реле.

Контроль фактического размыкания необходим для исключения опасных ситуаций при накоплении таких отказов, как сваривание контактов и поломка пружинных элементов, обеспечивающих выключение реле. В связи с необходимостью контроля работы реле зарубежные производители выпускают отдельный класс приборов, отличающихся наличием жесткой связи между контактными тройниками. Такая связь исключает замыкание нормально замкнутых контактов в случае сваривания общего и нормально разомкнутого контакта хотя бы в одной контактной группе. Указанный класс реле имеет название «safety relay», что дословно можно перевести как «безопасное реле».

В бесконтактных УСО задача обеспечения безопасности полностью возлагается на полупроводниковую элементную базу. При построении бесконтактных устройств совместно с полупроводниковыми коммутационными элементами могут использоваться электромагнитные реле. Однако в данном классе устройств они выполняют вспомогательные функции, не связанные с обеспечением безопасности. Например, при наличии резервирования аппаратных средств с помощью контактов реле может осуществляться отключение от исполнительного объекта не используемого в текущий момент времени комплекта аппаратуры сопряжения.

Поскольку полупроводниковые приборы являются элементами с симметричным отказом, безопасность УСО достигается путем использования специальных технических решений. Причем как при построении УВИР, так и в процессе создания бесконтактных УСО используются одни и те же подходы к обеспечению безопасности при отказах, которые можно условно разделить на два основных направления: *контроль исправности коммутационных элементов* и *преобразование энергии источника питания*.

На рис. 3 показан принцип построения УСО, основанный на контроле коммутационных элементов. Для обеспечения безопасности осуществляется проверка исправности коммутационного элемента (КЭ) путем осуществления кратковременных тестовых воздействий, изменяющих состояние полупроводникового прибора. Реакция ключевого элемента на тесто-

вые воздействия считывается датчиком обратной связи (ДОС), анализируется на уровне программного обеспечения УВК, и в случае обнаружения неисправности полупроводникового ключа осуществляется немедленное прекращение питания ИО, для чего в схеме предусматривается отключающее устройство (ОУ).

Использование преобразовательных схем является принципиально иным способом обеспечения безопасности, в основе которого лежит идея преобразования энергии под воздействием динамических управляющих сигналов. Преобразование осуществляется с помощью схем на полупроводниковых коммутационных элементах. Указанные схемы принято называть *функциональными преобразователями с несимметричным отказом (ФП)* [1, 2]. В случае прекращения поступления динамического сигнала или возникновения любого отказа коммутационного элемента преобразование энергии прекращается и работа управляемого устройства становится невозможной. Ложное включение ИО или ИР в случае пробоя коммутационных элементов преобразователя исключается двумя методами: применением *трансформаторной развязки* и использованием *неактивизирующего источника питания*.

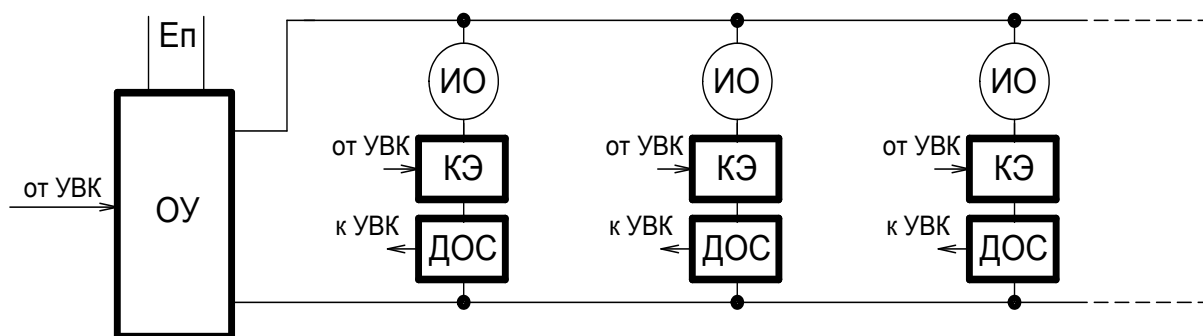


Рис. 3. УСО с контролем исправности коммутационных элементов

В первом случае используется фундаментальное свойство трансформатора, состоящее в невозможности передачи постоянного напряжения. Примеры реализации релейного и бесконтактного УСО на основе схем с трансформаторной развязкой показаны на рис. 4. Вполне очевидно, что поступление энергии источника питания на управляемый объект возможно только при условии наличия на первичной обмотке переменного напряжения, что достигается в результате импульсной работы ключевых элементов преобразователя. Пробой коммутационного элемента в данных схемах не опасен, поскольку приводит к воздействию на первичную обмотку постоянного напряжения источника питания.

Под неактивизирующим источником питания следует понимать такой источник, который не способен активизировать ИР или ИО при непосред-

ственном воздействии. Одним из примеров использования неактивизирующего источника энергии в релейных УСО является схема УВИР, управляющая поляризованным реле (рис. 5). Формирование напряжения, необходимого для срабатывания реле, обеспечивается в результате импульсной работы коммутационного элемента в конденсаторной схеме преобразователя полярности. В случае пробоя нескольких элементов схемы возможно ложное поступление напряжения источника питания на обмотку, но это не приведет к срабатыванию реле по причине ненадлежащей полярности напряжения.

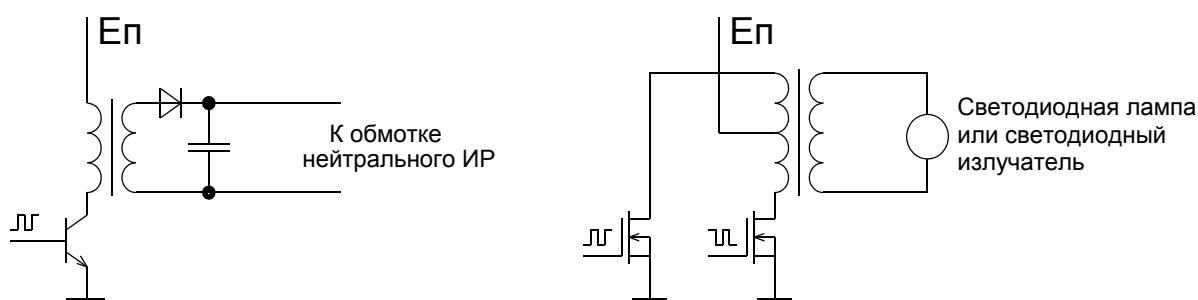


Рис. 4. УСО на основе ФП с трансформаторной развязкой

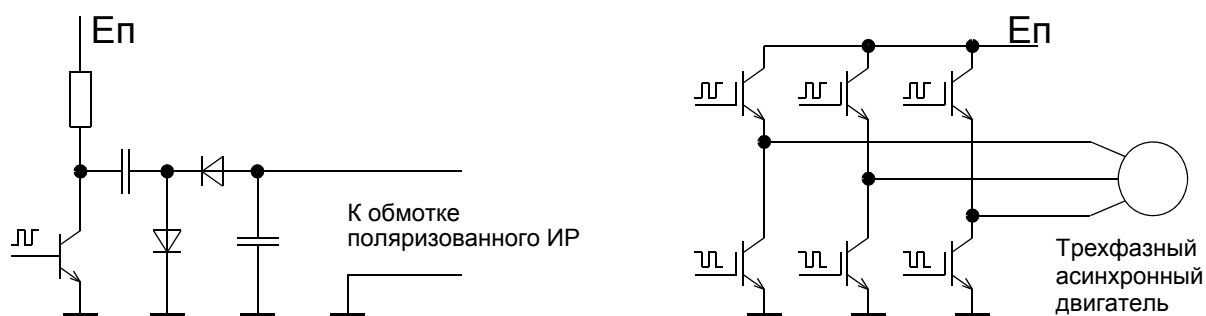


Рис. 5. УСО на основе ФП с неактивизирующим источником питания

Примером использования аналогичного принципа в бесконтактных УСО является схема управления трехфазным асинхронным двигателем стрелочного привода (см. рис. 5), [5]. Принцип действия асинхронного двигателя состоит в воздействии на ротор вращающегося магнитного поля, которое создается путем подачи на обмотки статора трехфазного переменного напряжения. Данное напряжение формируется мостовой схемой преобразования из постоянного напряжения источника питания. Пробой ключевых элементов преобразователя приводит к воздействию на обмотки двигателя постоянного напряжения, что в силу указанного выше принципа действия двигателя не может привести к вращению ротора.

2. Сравнительный анализ основных направлений в разработке безопасных устройств сопряжения

В процессе разработки аппаратуры сопряжения для микропроцессорных систем приходится выбирать наиболее подходящие для конкретной задачи технические решения. На современном этапе использование реле первого класса в том виде, в котором они существуют сегодня, нельзя считать перспективным направлением в разработке устройств сопряжения. Это связано в первую очередь, со значительными габаритами таких реле и ограниченной возможностью использования печатного монтажа. При использовании реле первого класса количество релейной аппаратуры в пересчете на одну стрелку, а также занимаемый этой аппаратурой объем оказываются не намного меньше, чем в релейно-процессорных системах автоматизации и даже в ранних разработках релейных систем. Поэтому создание УСО на основе существующих реле первого класса можно рассматривать как переходный этап на пути к более совершенным техническим решениям, а также как способ реализации сопряжения со смежными релейными системами. В последнем случае электромагнитное реле первого класса логично рассматривать в качестве исполнительного объекта, а не составной части УСО.

Вариант построения аппаратуры сопряжения на основе дублированных силовых реле принципиально отличается тем, что позволяет создавать достаточно компактные устройства, поскольку даже два силовых реле требуют для своего размещения существенно меньший объем монтажного пространства, чем одно реле первого класса. К тому же указанные реле, как правило, имеют варианты конструктивного исполнения, адаптированные для печатного монтажа [4]. Это позволяет обеспечить высокую технологичность аппаратуры и успешно реализовывать одно из важнейших преимуществ микропроцессорных систем – малые габариты аппаратных средств.

В качестве УВИР для релейных УСО целесообразно использовать ФП с трансформаторной развязкой, ФП с неактивизирующим источником энергии, а также схемы, представляющие собой комбинацию указанных принципов обеспечения безопасности [6]. Общим недостатком всех релейных УСО является ограниченный ресурс электромагнитных реле. Указанная особенность вынуждает разработчиков использовать реле с большим запасом коммутационной способности контактов, использовать различные схемы искрогашения или применять релейно-полупроводниковые схемы коммутации, в которых контакты реле переключаются при нулевых значениях токов. Тем не менее, если ИО включается достаточно часто, приходится учитывать механический ресурс релейных контактов.

УСО, основанные на применении силовых полупроводниковых элементов, выгодно отличаются от релейных решений практически неограни-

ченным сроком службы при любых условиях эксплуатации. В то же время работа силовых полупроводниковых приборов и иных элементов коммутационных и преобразовательных устройств сопряжена с потерями энергии, особенно значительными при высокой частоте переключений [8, 9]. Наибольшие потери энергии имеют место в схемах, содержащих трансформаторы. Практика использования преобразовательных схем в источниках вторичного электропитания показывает, что значение коэффициента полезного действия схем с трансформаторами находится в пределах 80...90 %. Соответствующая такому КПД абсолютная величина потерь энергии при управлении мощными исполнительными объектами может существенно превышать потери в обмотках электромагнитных реле. Поэтому вполне справедливо утверждение, что релейные УСО, управляющие объектами значительной мощности (например, двигателями электроприводов) отличаются сравнительно высокой энергетической эффективностью. В то же время, если существует возможность использования преобразовательных схем без трансформаторов (например, при управлении трехфазными асинхронными двигателями) [5], вполне достижимой будет величина КПД 95 % и более. В этом случае преимущество релейных схем по энергетической эффективности уже не столь очевидно. Можно говорить также о соизмеримости абсолютных величин потерь энергии при управлении маломощными нагрузками (лампами накаливания и светодиодными излучателями светофоров).

Оценивая УСО по габаритным и стоимостным показателям, следует отметить, что результат существенным образом зависит от специфики ИО. Опытно-конструкторские разработки показывают, что использование для управления светофорами решений на дублированных силовых реле и бесконтактных схем на основе преобразователей дает близкие результаты по стоимостным показателям аппаратуры. По габаритным показателям технические решения на основе малогабаритных реле иногда могут иметь преимущество перед преобразовательными схемами. Это связано с тем, что по условиям безопасности частота напряжения на выходе устройств, работающих на кабельную линию, не должна быть высокой [9], что является причиной значительных габаритов содержащихся в составе УСО трансформаторов. Преимущество релейных УСО оказывается наиболее заметным при управлении объектами, не требующими двухполюсного отключения, например маневровыми светофорами.

Достоинством преобразовательных схем является то, что они удачно сочетаются с современными системами бесперебойного электропитания на основе шин постоянного тока (ШПТ), поскольку в качестве исходного напряжения для преобразования используется именно постоянное напряжение. К тому же устройства сопряжения на основе силовых реле обычно предполагают использование специализированных приборов с жесткой

связью между контактными тройниками (реле безопасности). Компоненты, удовлетворяющие данному требованию, а также адаптированные для печатного монтажа, выпускаются сравнительно небольшим количеством зарубежных производителей и не имеют отечественных аналогов. Указанные факторы в ряде случаев делают обоснованным использование разработчиками преобразовательных схем несмотря на возможное увеличение габаритов аппаратуры.

Иначе обстоит дело при выборе метода построения УСО для управления двигателями электроприводов. Практика разработки аппаратуры сопряжения свидетельствует, что при управлении двигателем стрелочного привода переменного тока преимущество по стоимости и габаритам оказывается за бесконтактными решениями на основе преобразовательных схем [10]. Это связано с тем, что трехфазные асинхронные двигатели являются нечувствительными к постоянному напряжению, значит в составе преобразовательных схем нет необходимости использовать трансформаторы. Кроме того, повторно-кратковременный характер работы двигателя с относительно невысокой частотой включения существенно снижает остроту проблемы отвода тепла от полупроводниковых компонентов, что положительно сказывается на габаритных показателях аппаратуры. Релейные схемы в этом случае получаются достаточно сложными и дорогостоящими, поскольку для коммутации трехфазного напряжения требуется значительное количество контактных групп, а большая мощность и индуктивный характер нагрузки требуют специальных решений для обеспечения необходимого ресурса контактов.

При управлении двигателями постоянного тока, а также современными электрическими машинами с вентильным управлением преимущество бесконтактных схем по стоимостным и габаритным показателям не является определяющим, поскольку в этом случае в преобразовательных схемах невозможно обойтись без трансформаторов. В таких случаях удачной альтернативой трансформаторным схемам могут являться устройства на основе силовых реле [4]. Наибольший интерес представляет использование решений на основе силовых реле для управления электроприводами горочных стрелок [11]. Указанные приводы отличаются повышенной мощностью, потребляемой двигателем, а также сравнительно интенсивным использованием. Применение преобразовательных схем в таких условиях сопряжено со значительными потерями энергии, а достаточно частое включение привода приводит к необходимости увеличения габаритов аппаратуры с целью обеспечения надлежащего отвода тепла от силовых электронных компонентов. В данной области применения предпочтительным вариантом оказывается применение релейно-полупроводниковой схемы коммутации с использованием силовых реле. Весомым аргументом в пользу применения релейно-полупроводниковых схем коммутации для управле-

ния горочным приводом является то, что в случае пробоя силового полупроводникового ключа во время перевода стрелки сохраняется возможность успешного завершения начатого перевода. В случае использования преобразовательной схемы аналогичный отказ приведет к остановке стрелки в среднем положении, что неизбежно повлечет за собой сход подвижной единицы.

В случае использования технических решений, основанных на преобразовании питания, нельзя упускать из вида вопросы, связанные с параметрической безопасностью. Дело в том, что большинство относительно несложных преобразовательных схем формируют напряжение прямоугольной формы, характеризующееся наличием высокочастотных гармоник, что в силу наличия емкостных связей между жилами кабеля отрицательно сказывается на безопасности, поскольку приводит к появлению остаточных напряжений на выключенных исполнительных объектах [9]. Применение различных электрических фильтров, подавляющих высокочастотные гармоники, нельзя считать эффективным решением данной проблемы, поскольку такие схемы увеличивают габариты аппаратуры и не обеспечивают сохранение исходного уровня безопасности в случае возникновения отказов. Кроме того, необходимо учитывать, что частота выходного напряжения преобразовательных схем зависит от работы узлов, формирующих управляющие сигналы, значит существует вероятность несанкционированного увеличения частоты при отказах, что в силу наличия паразитной емкости в кабельных сетях также негативно влияет на безопасность. Поэтому при разработке схемных решений, формирующих управляющие сигналы, необходимо особое внимание уделять реакции таких схем на возникновение отказов и выбирать технические решения, не допускающие существенного повышения частоты.

При рассмотрении вопроса о целесообразности использования принципа, заключающегося в контроле исправности коммутационных элементов, необходимо учитывать следующее. Как было указано выше, в состав УСО на основе тестируемых полупроводниковых элементов обязательно входит ОУ. Поскольку данный функциональный узел является последней ступенью в обеспечении безопасности, в нем должны использоваться технические решения с однонаправленным отказом, то есть схемы на основе релейных компонентов или преобразовательных устройств. Фактически различие между обозначенными подходами к обеспечению безопасности бесконтактных УСО состоит в следующем: использовать ли индивидуальные преобразователи или реле для каждого исполнительного объекта или применять групповые устройства с аналогичным принципом действия на несколько исполнительных объектов.

УСО, безопасность которых обеспечивается путем тестирования полупроводниковых коммутационных элементов, характеризуются относи-

тельной простотой силовых схемотехнических решений и наименьшим количеством силовых компонентов в пересчете на один исполнительный объект. Однако несмотря на кажущуюся простоту такого подхода существует ряд специфических проблем, связанных с обеспечением безопасности. Основная проблема связана с необходимостью тестирования полупроводниковых ключей путем кратковременного открытия.

Отдельной и довольно непростой задачей является нормирование временных параметров тестирующих воздействий. Поскольку дублирование полупроводниковых коммутационных элементов не дает существенных преимуществ в отношении безопасности, период тестирования должен быть меньше, чем время реакции объекта [1, 2]. Более того, необходимо учитывать инерционность ОУ, которое должно успеть отключить питание ИО до того, как произойдет ложная активизация объекта, управляемого пробитым ключом. Поэтому основное требование к временным параметрам устройств можно сформулировать следующим образом: *сумма периода тестирования и времени срабатывания отключающего устройства должна быть меньше времени реакции исполнительного объекта*. Выполнение данного условия определяет необходимость довольно частого тестирования ключей, что повышает загруженность вычислительных средств и снижает их полезную производительность. Главное – для выполнения указанного требования необходимо уделять особое внимание быстродействию ОУ. Кроме того, следует учитывать необходимость наличия дополнительных аппаратных решений для реализации тестирования ключевых элементов – датчиков тока или напряжения, а также физических линий для ввода в вычислительные средства информации о текущем состоянии коммутационных элементов.

Безопасные УСО, использующие принцип преобразования энергии, не требуют тестирования коммутационных элементов, т. е. являются свободными от указанных выше проблем. При этом они предполагают наличие более сложной силовой схемотехники, что обуславливает большее количество ключевых элементов на один напольный объект. На начальных этапах создания микропроцессорных систем железнодорожной автоматики эта особенность являлась решающим фактором при выборе концепции построения бесконтактной аппаратуры сопряжения. В настоящее время ситуация на рынке электронной промышленности, в частности в области силовых полупроводниковых приборов, претерпела значительные изменения [7, 8, 12–14]. Так, появление мощных МДП-транзисторов позволило значительно упростить задачу построения преобразователей для управления относительно маломощными нагрузками, например светофорными лампами.

Важнейшим событием в области силовой электроники стало появление биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT). Эти транзисторы воплотили в себе ряд достоинств, присущих как полевым, так

и биполярным приборам. Прежде всего это характерный для полевых приборов низкий уровень мощности, потребляемый по цепям управления, а также свойственное биполярным транзисторам малое падение напряжения на открытом ключе при высоких рабочих напряжениях. Указанные особенности IGBT позволяют строить простые и надежные схемы преобразователей для нагрузок мощностью до нескольких киловатт (ранее такие мощности были доступны лишь схемам на тиристорах). Широкое распространение получили силовые модули, представляющие собой микросборки, в состав которых входят комплекты IGBT, предназначенные для построения одно- и трехфазных мостовых инверторов. Кроме того, разработан целый ряд специализированных микросхем, предназначенных для управления силовыми ключами преобразователей.

Определенный интерес представляют интеллектуальные силовые модули (IPM) [13, 14], в состав которых кроме силовых полупроводниковых ключей входят схемы, обеспечивающие формирование необходимых управляющих сигналов и защиту силовых элементов от повреждения при аварийных режимах работы оборудования. Использование IPM позволяет максимально сократить габариты преобразовательных устройств. Однако необходимо учитывать отсутствие стандартизации схемных решений и конструктивного исполнения подобных микросборок, что усложняет подбор аналогов при замене элементов и зачастую привязывает разработчика аппаратуры к продукции конкретных производителей электронных компонентов.

Заключение

Учитывая требования к современным системам, можно обозначить перспективные направления в разработке безопасных УСО. Такими направлениями являются создание релейных устройств на основе силовых реле, не являющихся приборами первого класса надежности, а также разработка бесконтактных технических решений, основанных на использовании силовых полупроводниковых компонентов. Выбирая между релейными и бесконтактными решениями, необходимо учитывать особенности исполнительных объектов, принципы организации электропитания, эффективность с точки зрения сокращения стоимости и габаритов устройств, требования к вариативности при выборе элементной базы УСО. В целом можно руководствоваться следующими основными тезисами:

– релейные УСО имеют явные преимущества в тех случаях, когда требуется управлять относительно мощными исполнительными объектами, для которых по условиям безопасности не могут использоваться преобразовательные схемы без трансформаторов;

– применение силовых реле может рассматриваться как средство сокращения габаритов и стоимости аппаратуры, если для управления объек-

том не требуется большого количества контактных групп и по исходным условиям питание УСО планируется осуществлять переменным напряжением от фидеров электроснабжения;

– бесконтактные УСО на основе преобразовательных схем удачно сочетаются с современными устройствами бесперебойного питания, построенными на основе ШПТ, а также предоставляют разработчику больше возможностей в процессе поиска альтернативной элементной базы.

Останавливая выбор на бесконтактных решениях, следует учитывать, что контроль исправности коммутационных элементов, как средство обеспечения безопасности, сопряжен с рядом специфических проблем, связанных с быстродействием устройств, загрузкой вычислительных средств и необходимостью физической реализации ввода дополнительной информации. К тому же вполне очевидно, что наличие тестирования ключей не исключает необходимости использования безопасных схемотехнических решений на основе электромагнитных реле или преобразовательных схем. Учитывая современные достижения в области силовой электроники, следует отметить, что создание компактных и надежных преобразователей для безопасного управления объектами уже не является сложной задачей для разработчиков. Таким образом, есть все основания утверждать, что широкое применение преобразовательных схем как малой мощности – для использования в качестве УВИР, так и значительной мощности – для непосредственного управления напольными объектами – является наиболее актуальным направлением в разработке безопасных УСО.

Библиографический список

1. Сапожников В. В. 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.
2. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы и принципы обеспечения безопасности микроэлектронных СЖАТ. РТМ 32 ЦШ 1115842.01–94. – СПб. : ПГУПС, 1994. – 120 с.
3. Сапожников В. В. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики : учебник для вузов ж.-д. транспорта / В. В. Сапожников, Ю. А. Кравцов, Вл. В. Сапожников ; под ред. В. В. Сапожникова. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 394 с.
4. Никитин А. Б. Использование малогабаритных силовых реле в безопасных устройствах сопряжения компьютерных систем железнодорожной автоматики / А. Б. Никитин, А. Н. Ковкин, А. Д. Манаков // Автоматика на транспорте. – 2018. – Том 4. – № 2. – С. 264–278.
5. Никитин А. Б. Использование функциональных преобразователей с несимметричным отказом для управления электроприводами переменного тока / А. Б. Никитин, А. Н. Ковкин // Автоматика на транспорте. – 2016. – Том 2. – № 1. – С. 7–18.

6. Патент на полезную модель № 114017 МПК В61L. Устройство для включения исполнительных устройств систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Никитин А. Б., Ковкин А. Н., Балувев Н. Н., Наседкин О. А., Алешечкин Ю. А. Начало действия патента 03.10.2011. Дата публикации 10.03.2012.
7. Воронин П. А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. – М. : Изд. дом «Додэка-XXI», 2001. – 384 с.
8. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов / Б. Ю. Семенов. – М. : «СОЛОН-Р», 2001. – 327 с.
9. Ковкин А. Н. Влияние кабельных сетей на безопасность функционирования бесконтактных устройств сопряжения : сб. науч. тр. / А. Н. Ковкин. – СПб. : ПГУПС, 2004. – С. 51–55.
10. Патент на полезную модель № 113093 МПК H02M. Преобразователь постоянного напряжения в трехфазное переменное напряжение / Никитин А. Б., Ковкин А. Н., Балувев Н. Н., Наседкин О. А., Абрамов О. А., Алешечкин Ю. А. Начало действия патента 21.07.2011. Дата публикации 27.01.2012.
11. Никитин А. Б. Использование принципа релейно-полупроводниковой коммутации для управления стрелочными электроприводами в современных системах горочной централизации / А. Б. Никитин, А. Н. Ковкин // Автоматика на транспорте. – 2017. – Том 3. – № 2. – С. 178–191.
12. Флоренцев С. Н. Современное состояние и перспективы развития приборов силовой электроники / С. Н. Флоренцев // Электронная промышленность. – 2002. – № 4. – С. 34.
13. Башкиров В. Интеллектуальные силовые модули компании International Rectifier для электропривода малой мощности / В. Башкиров // Силовая электроника. – 2005. – № 1. – С. 30–35.
14. Ланцов В. Интеллектуальная силовая электроника: от настоящего к будущему / В. Ланцов, С. Эраносян // Силовая электроника. – 2009. – № 4. – С. 6–12.

Alexander B. Nikitin

Alexey N. Kovkin

Valeriy A. Sokolov

«Automation and Remote Control on Railway» department
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Natalya A. Zhuravlyeva

«Economics of Transport» department
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Principles of safe interface with objects in computer based railway automation systems

This article discusses methods for constructing interface devices for computer based systems of railway automation using various components and principles of safety provision in case of failures. A comparative description of various approaches to the implementation of safe interface devices taking into account modern achievements in the

field of power electronics is given. Particular attention is paid to the selection of technical solutions, taking into account the specifics of executive facilities, the requirements for the used component base and the features of the system implementation area.

relay interface devices, contactless interface devices, relay interface devices, first class relay, power relay, monitoring of switching elements

References

1. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov V. V., Hristov H. A., Gavzov D. V. (1995) Methods of construction of safe microelectronic systems of railway automation [Metody postroeniya bezopasnyh mikroelektronnyh sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki], ed. V. V. Sapozhnikova. – Moscow : Transport. – 272 p.
2. Safety of railway automation and remote control. Methods and principles of ensuring the safety of microelectronic systems railway automation [Bezopasnost zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki Metody i printsipy obespecheniya bezopasnosti mikroelektronnyh SZHAT] (1994). RTM 32 TSSH 1115842. 01–94. – St. Petersburg. PGUPS. – 120 p.
3. Sapozhnikov V. V., Kravtsov Yu. A., Sapozhnikov V. V. (2008) Theoretical foundations of railway automation and telemechanics [Teoreticheskie osnovy zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki uchebnik]: dlya vuzov zh d transporta, ed. V. V. Sapozhnikova. Moscow : GOU «Uchebno-the methodical centre on education on railway transport». – 394 p.
4. Nikitin A. B., Kovkin A. N., Manakov A. D. (2018) The use of small-sized power relays in the safe interface devices of computer systems of railway automation [Ispolzovanie malogabaritnyh silovyh rele v bezopasnyh ustrojstvakh sopryazheniya kompyuternykh sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki]. Automation on transport [Avtomatika na transporte]. – Vol. 4. – No 2. Pp. 264–278.
5. Nikitin A. B., Kovkin A. N. (2016) The use of functional converters with asymmetric failure to control AC drives [Ispolzovanie funktsionalnykh preobrazovatelej s nesimmetrichnym otkazom dlya upravleniya ehlektroprivodami peremennogo toka]. Automation on transport [Avtomatika na transporte]. – Vol. 2. – No 1. Pp. 7–18.
6. Nikitin A. B., Kovkin A. N., Baluev N. N., Nasedkin O. A., Aleshechkin Yu. A. Patent for utility model No 114017 MPK B61L. Device for switching on the actuators of railway automation and remote control systems. [Ustrojstvo dlya vklyucheniya ispolnitelnykh ustrojstv sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki]. The Beginning of validity of the patent 03. 10. 2011. Data publication 10. 03. 2012.
7. Voronin P. A. (2001) Power semiconductor switches: families, characteristics, application [Silovye poluprovodnikovye klyuchi semejstva harakteristiki primenenie]. – Moscow, Publishing house «Dodeka-XXI». – 384 p.
8. Semenov B. YU. (2001) Power electronics for Amateurs and professionals [Silovaya ehlektronika dlya lyubitelej i professionalov]. – Moscow : «SOLON-R». – 327 p.
9. Kovkin A. N. (2004) The impact of cable networks on the safe of the functioning of the contactless interface device [Vliyanie kabelnyh setej na bezopasnost funktsionirovaniya beskontaktnykh ustrojstv sopryazheniya], Collection of scientific works. St. Petersburg, PGUPS. – Pp. 51–55.

10. Nikitin A. B., Kovkin A. N., Baluev N. N., Nasedkin O. A., Abramov O. A., Aleshechkin Yu. A. Patent for utility model No 113093 MPK H02M. The inverter DC voltage into threephase AC voltage. [Preobrazovatel postoyannogo napryazheniya v trekhfaznoe peremennoe napryazhenie]. The Beginning of validity of the patent 21.07.2011. Date of publication 27.01.2012.
11. Nikitin A. B., Kovkin A. N. (2017) Using the principle of relay- semiconductor switching to control of electrical drives in modern systems hump centralization [Ispolzovanie printsipa relejno poluprovodnikovoj kommutatsii dlya upravleniya strelochnymi ehlektroprivodami v sovremennyh sistemah gorochnoj tsentralizatsii]. Automation on transport [Avtomatika na transporte]. – Vol. 3. – No 2. – Pp. 178–191.
12. Florentsev S. N. (2002) Current state and prospects of power electronics devices development [Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya priborov silovoj ehlektroniki]. Electronic industry [Elektronnaya promyshlennost]. – No 4. – P. 34.
13. Bashkirov V. (2005) Intelligent power modules by International Rectifier for electric drive low power [Intellektualnye silovye moduli kompanii International Rectifier dlya ehlektroprivoda maloj moshchnosti]. Power electronics [Silovaya ehlektronika]. – No 1. Pp. 30–35.
14. Lantsov V., S. E Hranosyan. (2009) Intelligent power electronics: from the present to the future [Intellektualnaya silovaya ehlektronika ot nastoyashchego k budushchemu]. Power electronics [Silovaya ehlektronika]. – No 4. – Pp. 6–12.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Д. С. Марковым
Поступила в редакцию 11.02.2019, принята к публикации 06.03.2019*

НИКИТИН Александр Борисович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;

e-mail: Nikitin@crtc.spb.ru

КОВКИН Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;

e-mail: akovkin@yandex.ru

СОКОЛОВ Валерий Александрович – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;

e-mail: sokolov@pgups.ru

ЖУРАВЛЕВА Наталья Александровна – доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой «Экономика транспорта» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, директор Института прикладной экономики и бухгалтерского учета ж.-д. транспорта;

e-mail: zhuravleva_na@mail.ru

© Никитин А. Б., Ковкин А. Н., 2019
© Соколов В. А., Журавлева Н. А., 2019