
Интеллектуальные системы управления

УДК 656.25

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

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

УПРАВЛЕНИЕ СТРЕЛОЧНЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ ГОРОЧНОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ

Описываются особенности управления горочными стрелками, приводятся требования к стрелочным устройствам сопряжения в компьютерных системах горочной централизации, принципы их построения, рассматривается аппаратура безопасного сопряжения, разработанная для применения в составе компьютерных систем горочной централизации.

горочная централизация; стрелочный электропривод; автовозврат; резервирование аппаратуры; разделение аппаратуры; безопасная структура; функциональный преобразователь

Введение

Назначением сортировочных горок является ускорение процесса расформирования прибывающих поездов и формирования новых составов на сортировочных и участковых станциях железных дорог. Принцип работы сортировочной горки основан на использовании силы тяжести для самостоятельного движения вагонов на пути сортировочного парка. Переработка составов на сортировочных горках включает в себя операции надвига и роспуска, а также осаживание вагонов на путях сортировочного парка, перестановку вагонов при скатывании на «чужой» путь и передачу горочных локомотивов в парк приема. Наибольший эффект от использования сортировочной горки может быть получен лишь при комплексной механизации и автоматизации процесса сортировки вагонов, при которых ни одна из технологических операций не задерживает другую.

Важнейшую роль в обеспечении эффективной работы горки играют системы горочной централизации, автоматически переводящие стрелки по маршрутам скатывания отцепов. В качестве «классического» примера подобной системы можно привести разработанную в XX веке и получившую широкое распространение на сети железных дорог России и СНГ блочную горочную автоматическую централизацию (БГАЦ) на основе кодовых реле типа РКН.

Современный комплекс устройств автоматизации сортировки вагонов, помимо автоматического перевода стрелок, предполагает реализацию целого ряда дополнительных функций, таких как автоматическое регулирование скорости скатывания отцепов, автоматическое задание скорости роспуска составов и т. п. Не менее важной является интеграция горочных систем в информационные системы вышестоящего уровня. Для того чтобы возвести функциональные возможности устройств автоматизации горок на качественно новый уровень, требуется широкое использование средств вычислительной техники. Поэтому весьма актуально использование компьютерных систем горочной автоматики и, в частности, систем горочной автоматической централизации (ГАЦ).

При разработке компьютерных систем железнодорожной автоматики вообще и компьютерных систем ГАЦ в частности можно выделить две основные составляющие: создание специализированного программного обеспечения, ориентированного на реализацию конкретных технологических процессов, и разработку устройств сопряжения управляющего вычислительного комплекса (УВК) с исполнительными объектами. В данной статье подробно описываются устройства сопряжения с объектами (УСО) для управления горочными стрелками и приводится пример реализации аппаратуры безопасного сопряжения для стрелочных электроприводов постоянного тока.

1 Особенности управления горочными стрелками

Процесс роспуска составов на горках непрерывен, стрелки должны успевать переводиться в интервалах следования отцепов. Поэтому существенное значение для эффективной и безопасной работы сортировочной горки имеет высокая скорость перевода стрелок. Время перевода горочной стрелки не должно превышать 0,6 секунды, что на порядок меньше времени перевода стрелок на станциях. Такая высокая скорость обеспечивается уменьшением передаточного отношения редуктора в стрелочном приводе и использования двигателя постоянного тока, работающего при повышенных напряжениях [1, 2]. При таких жестких требованиях к времени перевода большое значение имеет время реакции схем управления стрелочными приводами.

В компьютерных системах горочной централизации с бесконтактными устройствами сопряжения обеспечение высокой скорости перевода на уровне

системы не является сложной задачей. Тем не менее необходимо учитывать, что УСО должны обеспечивать управление двигателями при высоких значениях пусковых и рабочих токов. Кроме того, интерфейсы, реализующие взаимодействие УВК и УСО, должны иметь достаточно малую длительность цикла обмена данными, что оказывает определенное влияние на принципы их построения. Так, при использовании последовательных интерфейсов (*RS-485* и т. п.), целесообразно избегать включения большого количества устройств в одну физическую линию интерфейса.

Особенностью работы горочных стрелок является то, что они не замыкаются в маршрутах, а значит, перевод стрелки под отцепом предотвращается исключительно путем контроля занятости стрелочных участков [1, 2]. Основным средством контроля занятости являются рельсовые цепи. В то же время, в силу определенной специфики работы горочных рельсовых цепей, требуется использование дополнительных средств контроля занятости, таких как магнитные педали, системы счета осей, фотоэлектрические и иные датчики.

В релейных системах ГАЦ исключение перевода стрелки под отцепом обеспечивается с помощью контакта повторителя путевого реле в управляющей цепи стрелочного блока (повторитель путевого реле контролирует не только занятие рельсовой цепи, но и состояние других средств контроля занятости). В компьютерных системах горочной централизации возможны два варианта решения данной задачи.

Первый вариант предполагает контроль занятости стрелочного участка на уровне УВК. Преимуществом такого варианта является удобство работы с различными современными устройствами контроля занятости, имеющими разнообразные (не обязательно релейные) интерфейсы. Недостатком такого решения является сложность УВК, который в этом случае должен представлять собой безопасную структуру [3, 4].

Второй вариант состоит в том, что информация о занятости обрабатывается на уровне УСО. Это исключает необходимость построения безопасного УВК, но создает проблему логической обработки сигналов от устройств контроля занятости. В этом случае необходимо либо создавать специализированные устройства сопряжения, ориентированные на работу с конкретными устройствами контроля занятости, либо использовать дополнительные технические решения вне УСО для логической обработки сигналов от нескольких устройств. Задача упрощается, если все устройства контроля занятости имеют релейный интерфейс. В этом случае достаточно контролировать замкнутое состояние цепи из включенных последовательно фронтальных контактов реле. Исключение перевода стрелки под отцепом может обеспечиваться как на уровне аппаратных средств, так и на уровне программных средств УСО. Последнее предпочтительно, поскольку микропроцессорные средства в составе УСО всегда выполняются по правилам построения безопасных структур, а схемотехника устройств сопряжения в этом случае упрощается.

При любом варианте алгоритм обработки информации о занятости в компьютерных системах ГАЦ должен предусматривать обязательное доведение стрелки до крайнего положения, если занятие участка произошло после начала перевода.

Важнейшее значение для обеспечения безопасности сортировочной работы на горке имеет предотвращение останковки остряков в среднем положении, поскольку стрелки начинают перевод уже в процессе движения отцепа. Остановка остряков может произойти под воздействием внешних факторов (например, в результате попадания предмета между остряком и рамным рельсом) или в результате отказа аппаратуры. Действенным средством для исключения указанных ситуаций в релейных системах ГАЦ является наличие функции автоматического возврата стрелки в исходное положение в случае длительного отсутствия контроля (автовозврат) [1, 2]. Автовозврат стрелки, как метод исключения останковки остряков вследствие отказа аппаратуры, наиболее эффективен, если перевод стрелки в одном и другом направлении осуществляется независимыми схемными узлами. Во всяком случае, такое разделение аппаратуры по направлениям перевода должно осуществляться для наименее надежных элементов схем. Так, в релейных стрелочных блоках для перевода в плюс и в минус используются разные предохранители. Помимо наличия функции автовозврата, большое значение для исключения останковки остряков имеет высокий уровень надежности аппаратуры и наличие бесперебойного питания. В современных системах горочной централизации, построенных с использованием вычислительных средств, общепринятым методом повышения надежности является резервирование аппаратуры и использование современных устройств электропитания, в которых тем или иным способом обеспечивается бесперебойность электроснабжения рабочих цепей в схемах управления электроприводами. Однако для повышения надежности не всегда следует стремиться к стопроцентному резервированию аппаратуры. Если речь идет об УСО для стрелочных приводов, более экономичным и в то же время достаточно эффективным решением может оказаться упомянутое выше разделение аппаратуры по направлениям перевода, при котором при отказе аппаратуры всегда остается возможность вернуть стрелку обратно; другое решение – сочетание двух методов – резервирования и разделения аппаратуры.

Отдельно следует сказать о реализации автовозврата в компьютерных системах ГАЦ. Во-первых, реализация данной функции на программном уровне дает новые возможности для усовершенствования алгоритма. Так, возможно осуществлять автовозврат не только в случае длительного отсутствия контроля, но и по факту обнаружения отказа аппаратуры средствами самодиагностирования. Во-вторых, с целью повышения быстродействия, желательно реализовывать алгоритм автовозврата на уровне программного обеспечения УСО. Указанные решения позволят осуществлять автовозврат в самые короткие сроки, снижая вероятность вступления отцепа на стрелку до его завершения.

2 Аппаратура безопасного сопряжения для управления горочными стрелками в компьютерных системах горочной централизации

Контроллер безопасного сопряжения для горочных стрелок (КБС-СГ), рассматриваемый в данной статье, предназначен для управления стрелочными электроприводами сортировочных горок, контроля положения горочных стрелок и контроля свободности стрелочных изолированных секций в составе аппаратуры компьютерных систем ГАЦ. КБС-СГ обслуживает шесть стрелок с двигателями постоянного тока и включает в себя четыре контроллерных модуля с устройствами безопасного формирования питания, а также шесть силовых модулей. Структура КБС-СГ показана на рис. 1.

Исключение перевода стрелки под отцепом обеспечивается путем использования дублированной структуры «2 из 2» и функциональных преобразователей с несимметричным отказом [5–7]. Предотвращение останковки остряков в среднем положении возможно благодаря разделению и резервированию аппаратуры. Так, в составе силовых модулей предусмотрены независимые функциональные узлы для перевода в «плюс» и в «минус», а контроллерные модули имеют стопроцентный резерв (четыре контроллерных модуля образуют два комплекта, каждый из которых представляет собой дублированную безопасную структуру).

В КБС-СГ реализован усовершенствованный алгоритм автовозврата, предусматривающий возвращение стрелки в исходное положение не только при длительном отсутствии контроля, как в релейных системах ГАЦ, но и по факту обнаружения отказа силового модуля. Кроме того, программное обеспечение контроллерных модулей может запретить перевод стрелки, если до начала перевода средствами самодиагностирования будут выявлены события, ставящие под сомнение возможность автовозврата (неисправен один из предохранителей, отсутствует какое либо напряжение питания или имеет место перегрев силовых элементов).

Увязка КБС-СГ с вычислительными средствами компьютерной системы ГАЦ осуществляется с помощью дублированного интерфейса RS-485. Это позволяет использовать аппаратуру совместно с безопасным вычислительным комплексом. Применительно к горочным централизациям это означает, что функция контроля занятости стрелочных участков может быть возложена на программное обеспечение УВК. В то же время предусмотрена возможность ввода и обработки информации о занятости стрелочных участков непосредственно в КБС-СГ. Таким образом, данная аппаратура может использоваться и в составе неотчетственных одноканальных структур.

Питание силовых цепей КБС-СГ осуществляется от шины постоянного тока устройств электропитания (УЭП) с номинальным напряжением 220 В. Питание логической схемотехники реализуется от источников постоянного тока

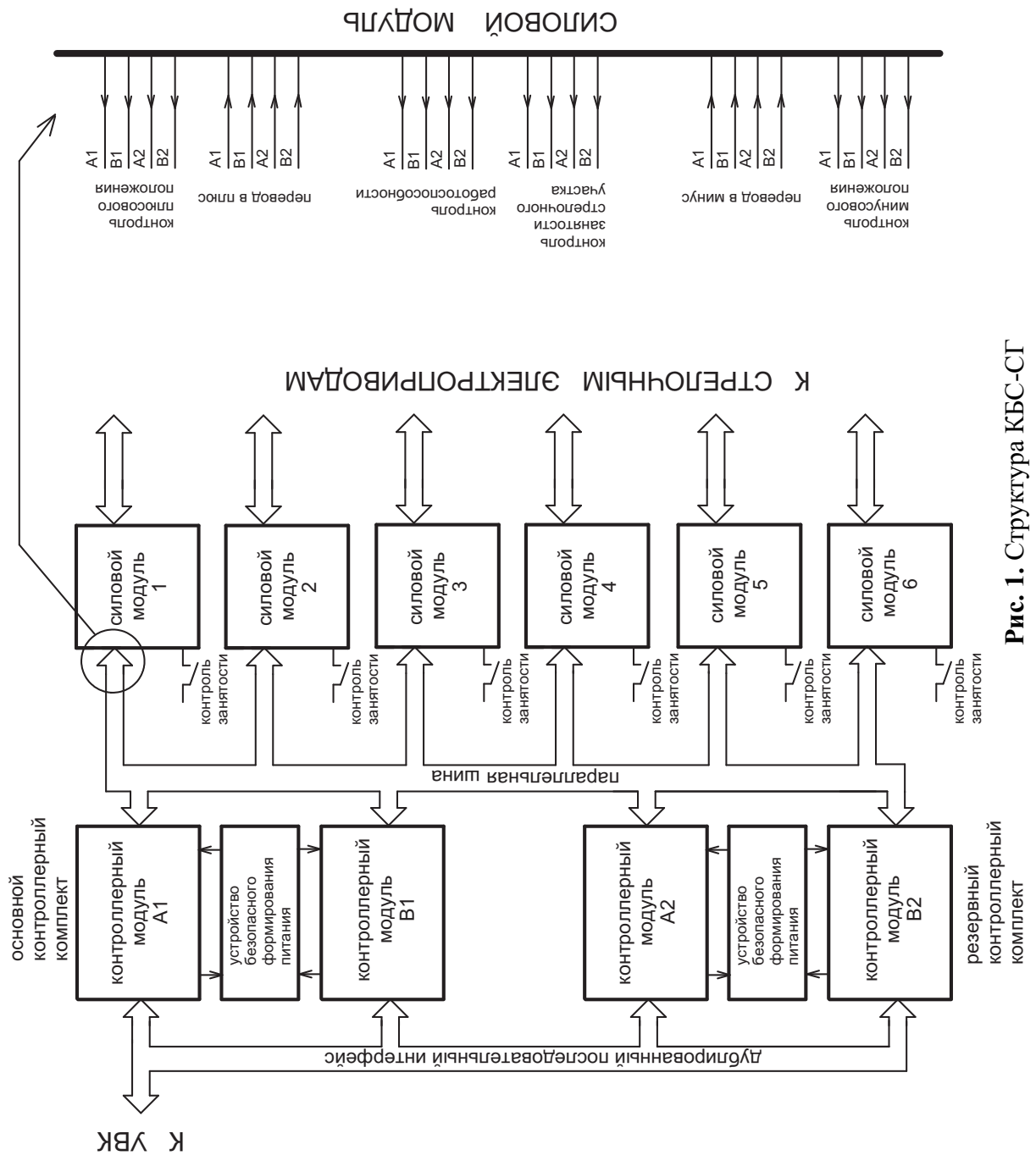


Рис. 1. Структура КБС-СГ

напряжением 24 В. Схемные узлы, переводящие стрелки в «плюс» и в «минус», имеют независимые входы питания, подключаемые к УЭП через отдельные автоматические выключатели.

Контроллерные модули осуществляют взаимодействие КБС-СГ с вычислительными средствами системы ГАЦ, формирование сигналов управления для силовых модулей, считывание сигналов контроля от силовых модулей, и реализацию логических зависимостей нижнего уровня, требующих высокой скорости исполнения. К таким зависимостям относится прекращение перевода стрелки по факту контроля, запрет перевода стрелки при занятости стрелочной секции или неисправности аппаратуры, автовозврат стрелки при длительном отсутствии контроля или при обнаружении отказа силового модуля. Наличие четырех контроллерных модулей в составе КБС-СГ позволяет реализовать резервированную безопасную структуру «2 из 2 или 2 из 2». В процессе перевода стрелки указанные выше функции реализуются одновременно обоими контроллерными комплектами, что позволяет завершить начатый перевод стрелки в случае отказа одного из контроллерных комплектов во время перевода.

Контроллерные комплекты подразделяются на основной комплект и резервный комплект. Отличие в работе комплектов состоит в том, что резервный комплект не передает информацию в УВК. Для исключения опасных ситуаций при накоплении отказов контроллерные модули в составе каждого комплекта проверяют работу друг друга. Если хотя бы одним модулем выявляется несоответствие информации в каналах *A* и *B* – обеспечивается необратимое отключение питания контроллерного комплекта. Для этой цели предусмотрены устройства безопасного формирования питания, управляемые сигналами от контроллерных модулей. Восстановление питания после необратимого отключения реализуется только при участии обслуживающего персонала путем нажатия кнопки или формирования соответствующей команды на автоматизированном рабочем месте (АРМ).

Силовые модули предназначены для управления двигателями постоянного тока, считывания сигналов от бесконтактных датчиков стрелочных приводов и контроля состояния контактов путевых реле. Силовые модули осуществляют непосредственное взаимодействие с горючими электроприводами СПГБ по семипроводной схеме. Каждый модуль содержит два идентичных узла перевода и контроля положения, а также узел контроля работоспособности и свободы. Функциональная схема силового модуля показана на рис. 2.

Узел перевода и контроля положения (далее – узел перевода) построен на основе функциональных преобразователей с несимметричным отказом и включает в себя следующие основные схемы:

- безопасный логический элемент «2 из 2 или 2 из 2»;
- генератор управляющих сигналов;
- силовой преобразователь;
- генератор импульсов контроля положения.

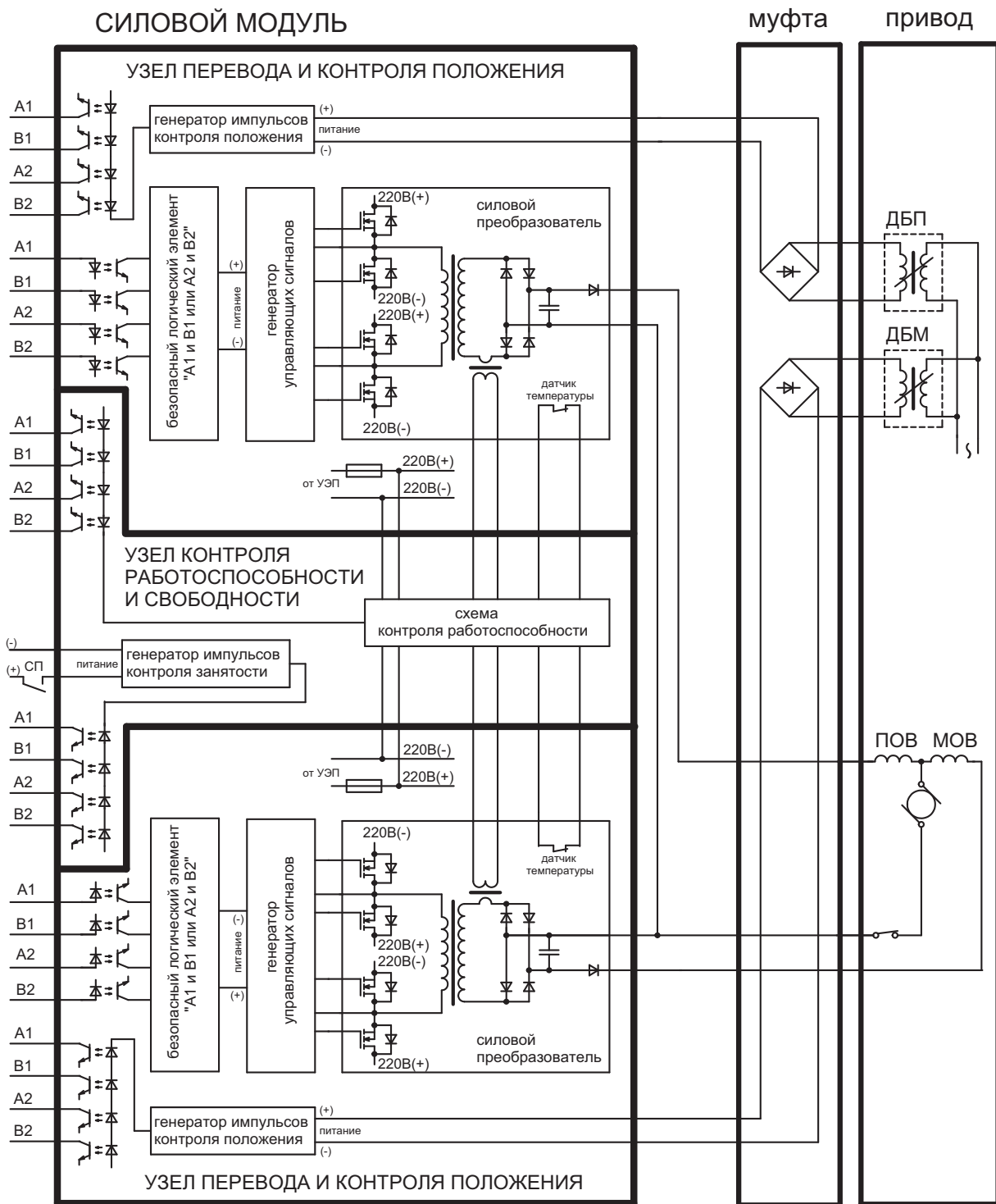


Рис. 2. Функциональная схема силового модуля

Безопасный логический элемент «2 из 2 или 2 из 2» реализует логическую функцию «И» для управляющих сигналов от каналов A и B по первому ($A1$, $B1$) и второму ($A2$, $B2$) контроллерному комплекту. В отношении результатов обработки сигналов от первого и второго контроллерного комплекта реализуется логическая функция «ИЛИ», что позволяет исключить остановку острьяков в среднем положении в случае отказа одного из контроллерных комплектов во время перевода. Входными сигналами безопасного логического элемента являются динамические сигналы, поступающие от контроллерных модулей через элементы опторазвязки. Выходной сигнал безопасного логического элемента представляет собой постоянное напряжение и используется в качестве напряжения питания для генератора управляющих сигналов.

Генератор управляющих сигналов формирует сигналы для управления силовыми ключами преобразователя. Эти сигналы поступают на базовые электроды силовых транзисторов. При появлении напряжения на выходе безопасного логического элемента генератор начинает осуществлять управление транзисторами силового преобразователя.

Силовой преобразователь осуществляет безопасное формирование постоянного напряжения 220 В для работы двигателя стрелочного привода. Исходным напряжением для преобразования является напряжение от шины постоянного тока 220 В. Силовой преобразователь включает в себя мостовой инвертор на *IGBT*-транзисторах, разделительный трансформатор, выпрямительный мост, сглаживающий конденсатор и развязывающий диод. При наличии управляющих сигналов от контроллерных модулей мостовой инвертор преобразует постоянное напряжение в переменное напряжение прямоугольной формы. Переменное напряжение через разделительный трансформатор поступает на выпрямительный мост. Пульсирующее напряжение с выхода выпрямительного моста сглаживается конденсаторами и через развязывающий диод поступает в рабочую цепь стрелочного привода. Развязывающий диод исключает влияние отказов элементов силового преобразователя на работу узла перевода противоположного направления. Для достижения высокого уровня надежности развязывающий диод имеет значительный запас по предельно допустимым режимам эксплуатации.

При отказе элементов прекращается преобразование постоянного напряжения в переменное, на выходе преобразователя напряжение не формируется и узел перевода переходит в защитное состояние. Поступление постоянного напряжения от шины питания на выход узла перевода при пробое силовых ключей исключается благодаря наличию разделительного трансформатора.

Генератор импульсов контроля положения представляет собой релаксационный генератор, управляемый напряжением, он формирует динамические сигналы для контроллерных модулей при нахождении стрелки в крайнем положении, соответствующем окончанию перевода стрелки данным узлом перевода. Входным сигналом генератора является выпрямленное напряжение от бесконтакт-

ного датчика положения стрелки. С целью повышения помехоустойчивости выпрямительные схемы размещаются в кабельных муфтах в непосредственной близости от стрелочного привода. Возможность ложного контроля при отказах элементов исключается благодаря тому, что питание схемы генератора осуществляется от энергии входного сигнала. Выходным сигналом генератора является динамический сигнал, передаваемый через элементы опторазвязки на входы каналов *A* и *B* обоих контроллерных комплектов.

Узел контроля работоспособности и свободы включает в себя схему контроля работоспособности и генератор импульсов контроля занятости. Схема контроля работоспособности предназначена для контроля исправности силового модуля и рабочей цепи электропривода во время перевода стрелки, а также контроля теплового режима модуля, наличия необходимых напряжений питания и исправности предохранителей в промежутки времени, когда стрелка не переводится. Указанная информация передается в контроллерные модули и используется для принятия решения о допустимости начала перевода, если стрелка находится в крайнем положении, и о необходимости реализации автовозврата, если стрелка уже начала переводиться. Контроль исправности силового модуля и рабочей цепи электропривода во время перевода стрелки заключается в фиксации превышения величиной тока в рабочей цепи определенного порогового уровня (контроль наличия тока). Для этой цели используется трансформатор тока, включенный в цепь вторичной обмотки разделительного трансформатора преобразователя. Дополнительной функцией схемы контроля работоспособности является измерение тока в рабочей цепи во время перевода. Информация о величине тока передается в контроллерные модули в виде динамических сигналов переменной частоты. Генератор импульсов контроля свободы по принципу действия полностью аналогичен генератору импульсов контроля положения в узлах перевода. Входным сигналом для генератора является постоянное напряжение, подаваемое через фронтонный контакт путевого реле. Если стрелочный участок свободен – на выходе генератора присутствует динамический сигнал, который через элементы опторазвязки поступает на входы контроллерных модулей.

Заключение

Компьютерные системы ГАЦ на современном этапе являются важнейшим средством автоматизации сортировочных горок. Устройства сопряжения для компьютерных горочных централизаций должны осуществлять безопасное управление стрелочными электроприводами с двигателями постоянного тока. При этом необходимо учитывать специфику работы горочных стрелок. В связи с этим можно сформулировать следующие требования к устройствам сопряжения:

1. Управляющая схемотехника должна обеспечивать работу двигателей при высоких значениях пусковых и рабочих токов.

2. Структура интерфейса между УСО и УВК должна создаваться с учетом минимизации времени передачи команд.

3. Аппаратура сопряжения должна исключать возможность несанкционированного перевода стрелки при возникновении отказов элементов.

4. При разработке аппаратных и программных средств УСО должны приниматься все возможные меры для предотвращения останова остряков в среднем положении в случае возникновения отказов.

5. При невозможности доведения остряков до крайнего положения устройства сопряжения должны обеспечивать реализацию функции автовозврата.

6. Если аппаратура сопряжения используется совместно с неотчетственным УВК, на нее должна быть возложена функция контроля занятости стрелочных участков.

Рассмотренная в статье аппаратура безопасного сопряжения удовлетворяет всем указанным требованиям, может использоваться как с безопасными, так и с неотчетственными УВК и ориентирована на работу с электроприводами СПГБ, оснащенными бесконтактными датчиками положения стрелки. Безопасность аппаратуры сопряжения обеспечивается путем использования дублированных безопасных структур и функциональных преобразователей с несимметричным отказом. Остановка остряков в среднем положении предотвращается путем использования усовершенствованного алгоритма автовозврата, предусматривающего немедленный автовозврат в случае обнаружения отказа, а также принципов резервирования аппаратуры и разделения аппаратуры по направлениям перевода.

Библиографический список

1. Переборов А. С. Телеуправление стрелками и сигналами : учебник для вузов ж.-д. транспорта / А. С. Переборов, А. М. Брылеев, В. Ю. Ефимов, И. М. Кокурин, Л. Ф. Кондратенко ; под ред. А. С. Переборова. – Москва : Транспорт, 1981. – 390 с.
2. Сагайтис В. С. Устройства механизированных и автоматизированных сортировочных горок : справочник / В. С. Сагайтис, В. Н. Соколов. – Москва : Транспорт, 1988. – 208 с.
3. Микропроцессорные системы централизации : учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – Москва : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 398 с.
4. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы и принципы обеспечения безопасности микроэлектронных СЖАТ. РТМ 32 ЦШ 1115842.01–94. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 1994. – 120 с.

5. Методы и средства оценки и обеспечения безопасности систем железнодорожной автоматики / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Гавзов, Д. С. Марков // Автоматика телемеханика и связь. – 1992. – № 1. – С. 4–7.
6. Гавзов Д. В. Методы обеспечения безопасности дискретных систем / Д. В. Гавзов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50.
7. Сапожников Вал. В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Х. А. Христов, Д. В. Гавзов. – Москва : Транспорт, 1995. – 272 с.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии В. В. Сапожниковым
Поступила в редакцию 19.11.2014
Контактная информация: akovkin@yandex.ru*

© Никитин А. Б., Ковкин А. Н., 2015