

Системы и устройства автоматики и телемеханики

УДК 681.518.5:004.052.32

**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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА РЕЛЕЙНО-ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ КОММУТАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СТРЕЛОЧНЫМИ ПРИВОДАМИ В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ ГОРОЧНОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ

В качестве примера практической реализации указанного принципа управления в современных системах рассмотрен силовой модуль для управления горочными стрелками, осуществляющий коммутацию рабочей цепи привода с помощью силовых транзисторов с изолированным затвором и малогабаритных реле для печатного монтажа. Особое внимание уделено проблематике обеспечения надежного и безопасного функционирования релейно-полупроводниковых схем управления двигателями постоянного тока, построенных с применением малогабаритных реле, не являющихся приборами первого класса надежности.

релейно-полупроводниковая коммутация; горочная стрелка; силовой модуль; узел перевода; коммутационная схема; транзистор с изолированным затвором; малогабаритное силовое реле; контроль размыкания контактов; отключающая способность; режим бестоковой коммутации; контроль исправности коммутационной схемы; автовозврат стрелки

Введение

Схемы управления электроприводами ответственных за безопасность систем железнодорожной автоматики и телемеханики должны исключать возможность несанкционированного включения электродвигателя при возникновении отказов. В компьютерных системах для непосредственного управления исполнительными объектами все чаще используются устройства сопряжения, построенные на основе полупроводниковой элементной базы. Для обеспече-

ния безопасности подобных устройств используют схемы, преобразующие электрическую энергию за счет динамической работы коммутационных элементов. Такие технические решения принято называть функциональными преобразователями с несимметричным отказом [1, 2]. Преобразовательные схемы для управления исполнительными объектами, работающими на постоянном токе, содержат трансформаторы, исключаящие воздействие постоянного напряжения источника питания на объект при отказах полупроводниковых ключей. Подобные схемы характеризуются относительно невысоким КПД, поэтому их использование для непосредственного управления исполнительными объектами приводит к перерасходу электроэнергии и повышенному тепловыделению. Данная проблема приобретает особое значение в случае управления горючими стрелками, характеризуемыми большой мощностью электроприводов и высокой интенсивностью использования [3].

Лучшим решением для таких исполнительных объектов можно считать использование релейно-полупроводниковых схем коммутации, осуществляющих управление объектом без преобразования электрической энергии. Безопасность таких схем обеспечивается за счет размыкания цепи объекта контактами электромагнитных реле. Полупроводниковый коммутационный элемент служит для увеличения срока службы реле в условиях коммутации значительных токов. основополагающим принципом функционирования релейно-полупроводниковых схем коммутации является открытие полупроводникового ключа после замыкания релейных контактов и запираание ключа до момента начала размыкания цепи контактами реле.

Следует отметить, что данная идея не нова. Примером использования принципа релейно-полупроводниковой коммутации является блок СГ-76У, предназначенный для управления горючими стрелками в релейных системах горючей автоматической централизации (ГАЦ) [4]. Коммутация тока двигателя в данном блоке реализуется с помощью тиристорных схем, а надежное размыкание рабочей цепи осуществляется с помощью реле, традиционно используемых в блоках управления стрелками.

В современных системах автоматики для практической реализации принципа релейно-полупроводниковой коммутации необходимы иные подходы. Известно, что использование тиристорных схем в цепях постоянного тока требует создания специальных схемотехнических решений для запираания полупроводниковых приборов, что приводит к усложнению схем и снижению их надежности. Поэтому, с учетом современного уровня развития полупроводниковой элементной базы, для коммутации тока двигателя при мощностях порядка нескольких киловатт предпочтительнее использование силовых транзисторов, среди которых наибольший интерес представляют полевые и биполярные транзисторы с изолированным затвором [5]. Одной из основных задач при этом является уменьшение габаритов аппаратуры. Кроме того, конструктивная реализация оборудования предполагает широкое использование печатного

монтажа. В связи с этим использование в составе устройств сопряжения реле первого класса надежности, применяющихся в системах железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), нельзя считать удачным решением и желательно использовать для размыкания цепей исполнительных объектов малогабаритные реле, предназначенные для монтажа на печатную плату.

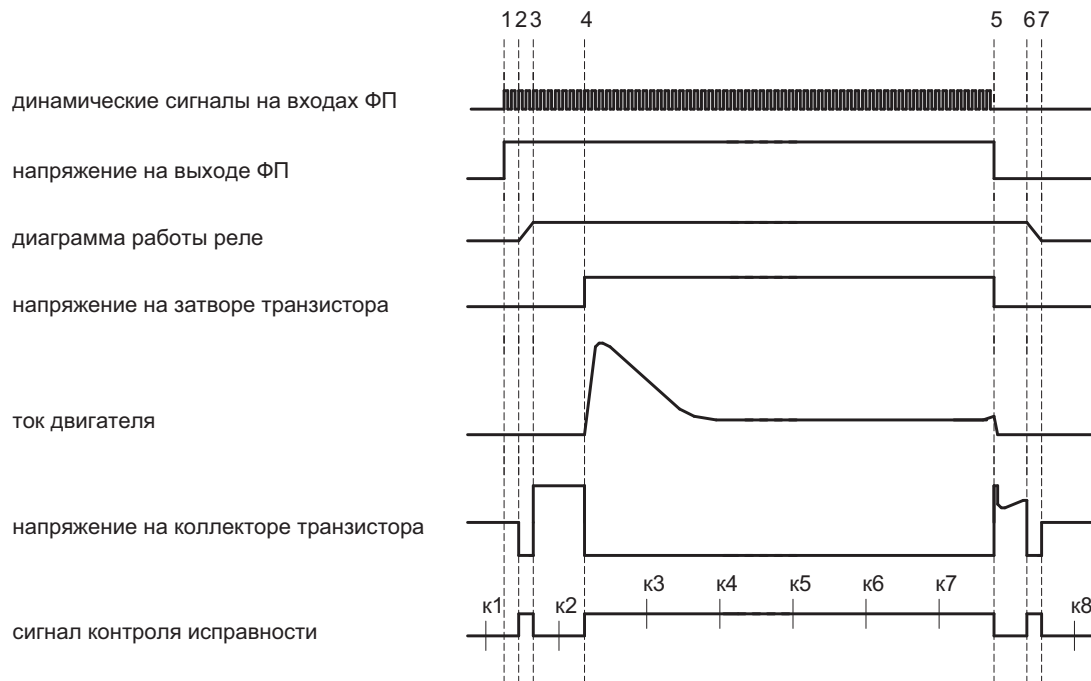
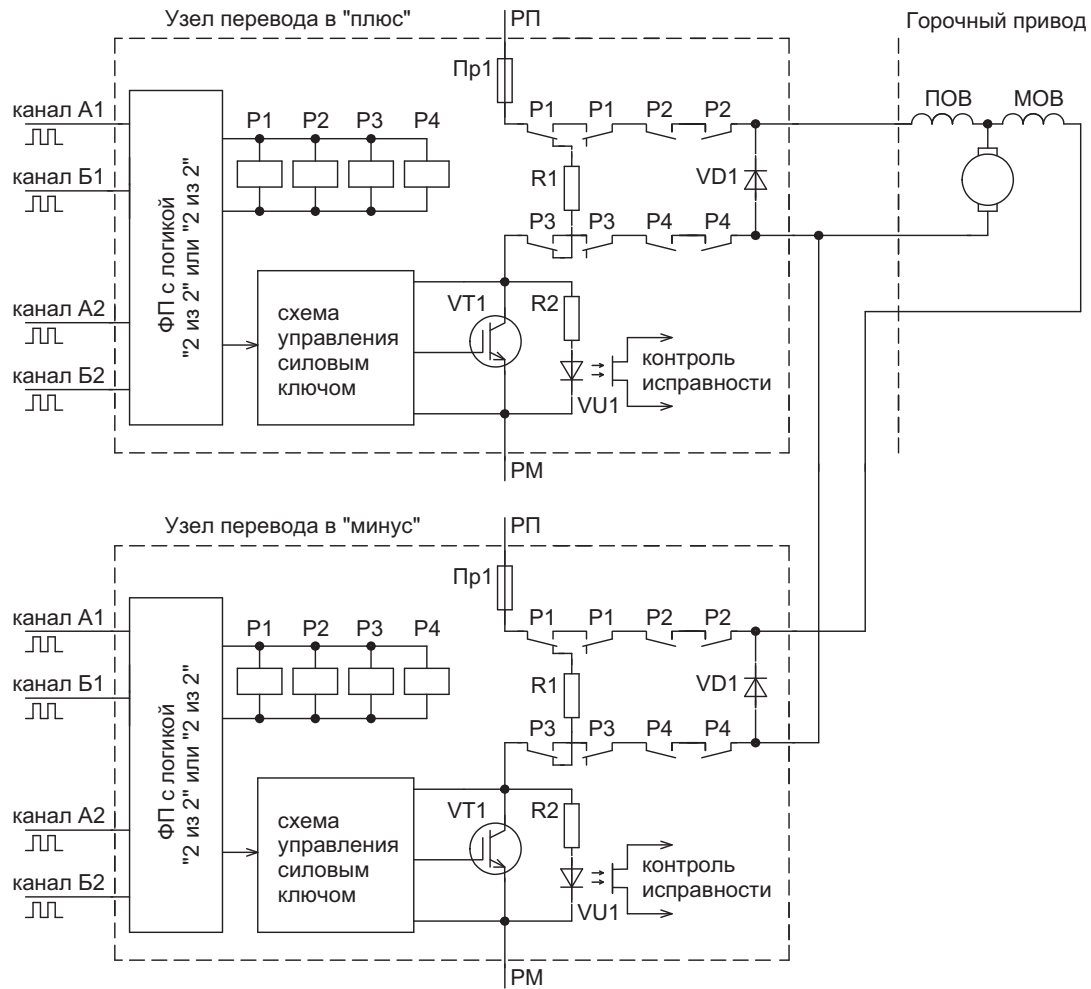
1 Практическая реализация принципа релейно-полупроводниковой коммутации

Принцип релейно-полупроводниковой коммутации реализован в силовом модуле для управления горочной стрелкой СТГ-1. Модуль построен на основе современной элементной базы и предназначен для непосредственного управления приводом горочной стрелки, а также контроля положения стрелочного перевода в составе устройств сопряжения с объектами компьютерных систем ГАЦ. Данное изделие успешно прошло испытания на 4-й автоматизированной сортировочной горке станции Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский как часть подсистемы безопасного управления и контроля объектами ЖАТ горочной микропроцессорной централизации ГМЦ-ГТСС.

Рассматриваемый силовой модуль работает под управлением сигналов, формируемых контроллерными модулями аппаратуры сопряжения, представляющими собой дублированную безопасную структуру. На уровне контроллерных модулей реализуется функция автовозврата стрелки, а также могут решаться задачи, связанные с проверкой условий безопасности. Это позволяет упростить схемотехнические решения силовой аппаратуры и обеспечить реализацию более совершенных алгоритмов [6].

В силовом модуле реализован принцип релейно-полупроводниковой коммутации исполнительного объекта, что обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с техническими решениями на основе преобразовательных схем. В первую очередь, это на порядок меньшая величина потерь мощности и, как следствие, незначительное тепловыделение. Кроме того, при пробое полупроводникового ключа в коммутационной схеме обеспечивается доведение стрелки до крайнего положения, тогда как в схемах на основе силовых преобразователей аналогичный отказ приводит к остановке остряков в среднем положении [6]. Следует также отметить, что схемы, в которых используется для управления объектом принцип коммутации, оказывают существенно меньшее влияние на работу других устройств через емкость кабельной сети [7] и за счет использования реле являются более устойчивыми к воздействию перенапряжений.

Упрощенная схема силового модуля в части управления двигателем стрелочного привода, а также временные диаграммы, поясняющие ее работу, показаны на рисунке.



Упрощенная схема и временные диаграммы работы узлов перевода силового модуля СТГ-1

Схема состоит из двух одинаковых функциональных узлов, один из которых обеспечивает перевод стрелки в плюсовое положение, а другой – в минусовое. Использование независимых схемотехнических решений для разных направлений перевода обеспечивает возможность возврата стрелки в исходное положение в случае возникновения отказов.

В качестве полупроводникового коммутационного элемента (VT1) использован силовой биполярный транзистор с изолированным затвором, называемый также IGBT-транзистором. Такие транзисторы сочетают в себе преимущества полевых и биполярных полупроводниковых структур [5].

Двигатель горочного привода работает при напряжении 220 В, величина пускового тока составляет 25 А [4]. В рассматриваемом силовом модуле применен IGBT-транзистор IRGP4063D, способный коммутировать ток 96 А при напряжении 600 В, что обеспечивает высокую надежность схемы за счет многократного запаса по предельным эксплуатационным параметрам полупроводникового прибора.

Безопасность схемы обеспечивается благодаря использованию электромагнитных реле Р1, Р2, Р3, Р4. Обмотки реле получают питание от маломощных функциональных преобразователей с несимметричным отказом [1, 2], управляемых динамическими сигналами, поступающими от контроллерных модулей устройств сопряжения. В состав функциональных преобразователей входят безопасные логические схемы, реализующие управление по принципу «2 из 2 или 2 из 2». Это позволяет использовать силовой модуль в составе дублированной безопасной структуры управления, а также предусматривать резервирование источников управляющих сигналов. Существенными недостатками реле первого класса надежности, традиционно используемых в системах ЖАТ, являются большие габариты и невозможность использования в печатном монтаже. Поэтому в данном устройстве применены малогабаритные силовые реле, приспособленные для монтажа на печатную плату. Современная промышленность выпускает подобные реле с номинальным током контактов в несколько десятков ампер, что вполне достаточно для данной области применения. В рассматриваемой схеме применены реле Finder 66 серии, содержащие по две контактные группы с номинальным током 30 А [8]. Указанная величина тока контактов обеспечивает надежное функционирование реле в условиях периодического воздействия пускового тока двигателя. Поскольку такие реле не относятся к приборам первого класса надежности, необходимый уровень безопасности достигается путем дублирования реле и контроля фактического размыкания контактов [9].

Необходимость использования четырех реле для каждого направления перевода обусловлена требованиями к отключающей способности контактной части схемы, поскольку в случае пробоя полупроводникового элемента задача отключения тока двигателя целиком ложится на контакты реле. Если двигатель работает на постоянном токе и напряжение измеряется сотнями

вольт, для быстрого гашения возникающей при отключении дуги требуется значительное межконтактное расстояние [9], которое не может быть реализовано в малогабаритных реле. Указанная проблема в рассматриваемом силовом модуле решается путем последовательного включения в цепь двигателя восьми контактных групп, что дает возможность надежного отключения тока двигателя в случае пробоя транзистора. В позициях P1, P3 использована модификация реле с тройниковыми контактами, что позволяет контролировать фактическое размыкание цепи. В качестве реле P2, P4 применяется модификация с нормально разомкнутыми контактными группами, не содержащими тылового контакта. Такие контактные группы характеризуются более высокой отключающей способностью за счет большего по сравнению с тройниковыми группами межконтактного расстояния [8].

Диод VD1 облегчает коммутационный процесс, замыкая на себя ток, возникающий в цепи под воздействием ЭДС самоиндукции. Благодаря этому исключается возникновение опасных перенапряжений на транзисторе, а также повышается величина тока, который в случае необходимости может быть отключен контактами реле без длительного горения электрической дуги. За счет наличия диода при определении отключающей способности контактной части можно пользоваться диаграммами для резистивной нагрузки [8]. Расчетное значение отключающей способности для рассматриваемой коммутационной схемы имеет величину, более чем в два раза превышающую ток фрикции горочного привода.

Схема управления силовым ключом реализует временную задержку около 50 мс между подачей напряжения на обмотки реле и формированием управляющего сигнала для транзистора (интервал времени 1–4 на временной диаграмме). За счет этого переключение контактов реле (интервал 2–3) осуществляется в бестоковом режиме. При выключении двигателя управляющий сигнал с транзистора снимается одновременно с исчезновением напряжения на обмотках реле и режим бестоковой коммутации при размыкании контактов (интервал 6–7) реализуется за счет свойственной электромагнитному реле задержки на размыкание контактов (интервал 5–6). Дополнительной функцией схемы управления силовым ключом является защита транзистора от воздействия тока короткого замыкания. Указанная защита реализуется методом анализа величины напряжения на открытом полупроводниковом ключе [5] и настраивается на величину напряжения около 2,5 В, что соответствует току коллектора, примерно в два раза превышающему пусковой ток двигателя.

Плавкие предохранители Пр1 защищают схему в режимах, когда возникает перегрузка, но величина тока недостаточна для срабатывания электронной защиты. Кроме того, наличие предохранителей исключает возникновение серьезных повреждений аппаратуры, если на момент короткого замыкания или перегрузки величина тока будет превышать отключающую способность

контактной части силового модуля, а полупроводниковый ключ окажется неработоспособным.

Резисторы R1, R2 и оптопара VU1 используются для контроля исправности коммутационной схемы. Более подробно данный вопрос рассмотрен в следующем разделе данной публикации.

Кроме изображенных на рисунке узлов перевода в состав силового модуля входят схемы контроля положения стрелки, осуществляющие ввод в контроллерный модуль информации о состоянии бесконтактных датчиков в приводе. В составе силового модуля предусмотрена также схема контроля состояния релейного контакта, реализующая ввод информации о состоянии путевого реле, что позволяет выполнять проверку условий безопасности на уровне контроллерных модулей аппаратуры сопряжения. Это расширяет область применения аппаратуры сопряжения, поскольку появляется возможность использовать ее в составе одноканальных вычислительных структур, не предназначенных для реализации алгоритмов, связанных с безопасностью. Все указанные схемы контроля представляют собой технические решения с несимметричным отказом, формирующие на выходе динамические сигналы и построены на основе генераторов, управляемых напряжением, аналогичных применяемым в устройствах безопасного ввода системы МПЦ-МПК [10].

2 Контроль исправности коммутационной схемы

Как было отмечено, для обеспечения безопасности требуется размыкать цепь двигателя контактами двух реле и осуществлять контроль фактического размыкания этих контактов. Кроме того, для исключения преждевременного износа контактов реле и уменьшения вероятности появления отказов в релейной части коммутационной схемы необходимо исключать возможность эксплуатации силового модуля с пробитым полупроводниковым ключом.

Контрольная схема на элементах R1, R2, VU1 позволяет обеспечивать как контроль работы реле, так и проверку исправности полупроводникового коммутационного элемента. Принцип работы схемы заключается в контроле наличия напряжения на полупроводниковом ключе. Реле P1, P3 имеют переключающие (тройниковые) контактные группы. Напряжение источника питания рабочей цепи через резистор R1 и замкнутые тыловые контакты реле P1 и P3 подается на транзистор VT1. Наличие напряжения на транзисторе контролируется оптопарой VU1, подключенной через резистор R2. Состояние оптопары анализируется программным обеспечением контроллерного модуля. Открытому состоянию оптопары соответствует низкий уровень сигнала контроля исправности, поступающего на вход контроллерного модуля. При закрытой оптопаре сигнал имеет высокий уровень (см. временную диаграмму на рисунке). По результатам анализа сигнала контроллерный модуль при-

нимает решение об исправности коммутационной схемы и в случае наличия отказов исключает возможность реализации команды на перевод стрелки.

При исправной коммутационной схеме в промежутках времени между переводами оптопара будет открыта. Во время перевода стрелки цепь R2, VU1 шунтируется открытым полупроводниковым ключом и оптопара закрывается. Таким образом, в процессе эксплуатации исправного силового модуля оптопара периодически меняет свое состояние, что позволяет не только контролировать исправность коммутационной схемы, но и выявлять отказы в самой схеме контроля. В случае незамыкания одного из тыловых контактов оптопара будет закрыта. Пробой полупроводникового ключа приводит к шунтированию входной цепи оптопары, что, в свою очередь, также обеспечит ее закрытие.

Конструктивные особенности используемых в силовом модуле реле исключают возможность мостового замыкания контактных тройников. Кроме того, все общие контакты в пределах реле имеют жесткую связь между собой с помощью рамки. Благодаря указанным особенностям (наличие замкнутого состояния общего и тылового контакта одной контактной группы) можно однозначно судить о фактическом размыкании всех фронтальных контактов соответствующего реле. Таким образом, рассматриваемая контрольная схема позволяет выявлять пробой полупроводникового ключа и одиночные отказы релейной пары P1, P3, которая в данном техническом решении является ответственной за обеспечение безопасности.

Кроме указанных неисправностей, схема контроля позволяет выявлять обрыв (перегорание) предохранителя, а также отсутствие напряжения питания в рабочей цепи. Оптопары обоих узлов перевода включаются во входную цепь контроллерного модуля последовательно, что обеспечивает одновременный контроль исправности коммутационных схем для двух направлений. Это позволяет исключать управление стрелкой, если перед началом перевода обнаруживаются отказы, приводящие к невозможности автовозврата (например, неисправность предохранителя для противоположного направления перевода).

Эффективный контроль исправности коммутационной схемы предполагает выполнение определенных требований к программному обеспечению контроллерных модулей. В первую очередь это касается моментов времени, в которые должно осуществляться считывание сигнала. На основании анализа состояния коммутационной схемы должно приниматься решение о возможности перевода стрелки. Обеспечение необходимого уровня безопасности возможно лишь в том случае, если выявляются отказы самой схемы контроля. Это означает, что контролировать состояние схемы необходимо при каждом переводе стрелки и считывание сигнала должно производиться как минимум в два момента времени: непосредственно перед началом перевода (момент времени $k1$ на диаграмме) и во время перевода, после открытия полупроводникового ключа (момент времени $k3$). В первом случае при исправном

силовом модуле сигнал контроля должен иметь низкий уровень, во втором случае – высокий.

Для более полной диагностики и эффективного управления работой модуля, кроме обязательных с точки зрения безопасности моментов к1 и к3 целесообразно предусмотреть считывание сигнала и в другие моменты времени. Так, контроль в момент к2 позволит обнаруживать отказы схемы, реализующей временную задержку на открытие полупроводникового ключа. Моменты к4, к5, к6, к7 дают возможность выявить прекращение перевода вследствие неисправности аппаратуры, что, в свою очередь, позволит осуществлять автовозврат стрелки по обнаружению отказа, не дожидаясь истечения 1,2 секунды после потери контроля [6]. Момент к8 обеспечивает повышение информативности диагностического алгоритма в части выявления некоторых отказов (например, пробоя полупроводникового ключа), поскольку появляется возможность определить, когда произошел отказ: до перевода стрелки или в процессе перевода. Указанные подходы к организации самодиагностики в сочетании с использованием внешних диагностических подсистем способствуют дополнительному повышению надежности аппаратуры [11, 12].

Важную роль в обеспечении безопасности играет алгоритм функционирования контроллерного модуля аппаратуры сопряжения и системы в целом, после обнаружения отказа. В случае выявления неисправности контроллерный модуль должен не только исключать реализацию поступившей команды на перевод, но и передавать информацию об отказе в управляющий вычислительный комплекс системы ГАЦ. Управляющий вычислительный комплекс, в свою очередь, должен обеспечивать оповещение эксплуатационного персонала о возникшей неисправности, а также протоколировать информацию об отказе. Кроме того, необходимо исключать возможность дальнейшей эксплуатации неисправного силового модуля (даже если в последующие моменты времени фиксируется исправное состояние). Для этого в случае обнаружения неисправности контроллерный модуль должен необратимо присваивать соответствующему силовому модулю статус неисправного устройства, исключающий возможность управления связанной с этим модулем стрелкой.

Заключение

Наиболее эффективное управление двигателями стрелочных приводов в компьютерных системах горючей централизации обеспечивается при использовании принципа релейно-полупроводниковой коммутации. Основными преимуществами данного принципа управления являются незначительные потери мощности и связанное с этим тепловыделение, а также возможность успешного окончания перевода стрелки в случае пробоя полупроводникового коммутационного элемента.

Практическая реализация принципа релейно-полупроводниковой коммутации рассмотрена на примере силового модуля СТГ-1, предназначенного для управления стрелками в составе аппаратуры безопасного сопряжения компьютерных систем ГАЦ. Модули СТГ-1 работают под управлением контроллерных модулей, входящих в состав устройств сопряжения. Безопасность при возникновении отказов достигается путем дублирования реле, формирования напряжения для обмоток реле с помощью функциональных преобразователей с несимметричным отказом и контроля фактического размыкания контактов. Необходимая отключающая способность релейной части реализуется за счет последовательного включения в цепь двигателя нескольких контактных групп. Данная аппаратура обладает рядом преимуществ по сравнению с существующими схемами управления горочными стрелками:

1. Автовозврат и иные алгоритмы, связанные с переводом горочной стрелки, реализуются на уровне программного обеспечения контроллерных модулей, что способствует расширению функциональных возможностей аппаратуры сопряжения и в конечном счете – повышению экономической эффективности внедрения системы [13].

2. В коммутационных схемах силовых модулей использована современная элементная база, а именно силовые транзисторы с изолированным затвором и малогабаритные реле, предназначенные для печатного монтажа. Это позволило существенно уменьшить габариты аппаратуры, повысить надежность и обеспечить высокую технологичность в производстве.

3. Наличие двух независимых узлов для перевода в каждом направлении позволяет довести стрелку до одного из крайних положений в случае возникновения неисправности управляющей схмотехники во время перевода.

4. В рассмотренной аппаратуре обеспечивается анализ состояния коммутационных схем. В случае обнаружения отказов элементов силового модулю присваивается статус неисправного устройства, исключается реализация поступающих команд на перевод стрелки, а информация об отказе передается в управляющий вычислительный комплекс системы. Периодическая проверка исправности коммутационных схем позволяет реализовывать новые алгоритмы управления, например автовозврат стрелки по факту обнаружения отказа, а также запрет перевода стрелки при наличии отказов, приводящих к невозможности автовозврата.

Библиографический список

1. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Гавзов, Х. А. Христо ; 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. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 1994. – 120 с.
3. 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. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1981. – 390 с.
4. Сагайтис В. С. Устройства механизированных и автоматизированных сортировочных горок : справочник / В. С. Сагайтис, В. Н. Соколов. – М. : Транспорт, 1988. – 208 с.
5. Воронин П. А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2001. – 384 с.
6. Никитин А. Б. Управление стрелочными электроприводами в компьютерных системах горочной централизации / А. Б. Никитин, А. Н. Ковкин // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 51–62.
7. Ковкин А. Н. Влияние кабельных сетей на безопасность функционирования бесконтактных устройств сопряжения / А. Б. Никитин, А. Н. Ковкин // Разработка и эксплуатация новых устройств и систем ж.-д. автоматики и телемеханики. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2004.
8. Inter Electric. Официальный дистрибьютор Finder в России. – URL : <http://www.finder-relay.ru/katalog>.
9. Сапожников Вал. В. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики : учебник для вузов ж.-д. транспорта / Вал. В. Сапожников, Ю. А. Кравцов, Вл. В. Сапожников ; под ред. Вал. В. Сапожникова. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 394 с.
10. Сапожников Вал. В. Микропроцессорная система электрической централизации МПЦ-МПК / Вал. В. Сапожников, А. Б. Никитин // Наука и транспорт. – 2009. – С. 18–21.
11. Бушуев С. В. Оценка влияния систем технической диагностики и мониторинга на надежность работы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики в эксплуатации / С. В. Бушуев, М. Л. Ускова, А. Н. Попов // Транспорт Урала. – 2014. – № 3 (42). – С. 68–72.
12. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : монография / Д. В. Ефанов. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с.
13. Бушуев С. В. Тенденции развития электрической централизации и компьютерных систем оперативного управления движением поездов на станциях / С. В. Бушуев, А. Б. Никитин // Транспорт Урала. – 2006. – № 2 (9). – С. 14–18.

Alexander B. Nikitin

Alexey N. Kovkin

«Automation and remote control on railways» department
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university

Using the principle of relay-semiconductor communication for controlling points in modern hump interlocking systems

As an example of the practical implementation of stated control principle in modern systems, the power module for controlling the hump points is considered, which switches the operating circuit of the point machine by means of power transistors with an isolated gate and small-size relays for printed mounting. Particular attention is paid to the problem of ensuring reliable and safe operation of relay-semiconductor circuits for controlling DC motors constructed using small-sized relays that are not devices of the first reliability class.

relay-semiconductor switching; hump point; power module; switching node; switching circuit; isolated gate transistor; small-sized power relay; check of contacts opening; breaking capacity; deadlock switching mode; check of the integrity of the switching circuit; automatic point return

References

1. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Gavzov D. V., Hristo H. A. (1995). Ed. Sapozhnikov Vl. V. Methods for Constructing Safe Microelectronic Railway Automation Systems (1995) [Metody postroeniya bezopasnyh mikroelektronnyh sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki]. Moscow, Transport [Transport]. – 272 p.
2. Railway automation and remote control reliability. Methods and principles of microelectronic signaling systems safety provision. RTM 32 TCSH 1115842.01–94. St. Petersburg, Petersburg state transport university [Bezopasnost' zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki. Metody i principy obespecheniya bezopasnosti mikroelektronnyh SZHAT. RTM 32 CSH 1115842.01–94. St. Petersburg, PGUPS]. – 120 p.
3. Pereborov A. S., Bryleev A. M., Efimov V. Yu., Kokurin I. M., Kondratenko L. F. (1981). Remote control of signals and points, textbook [Teleupravlenie strelkami i signalami. Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transp.]. Ed. Pereborov A. S. Moscow, Transport [Transport]. – 390 p.
4. Sagajtis V. S., Sokolov V. N. (1988). Devices of mechanized and automated marshalling yards, handbook [Ustrojstva mekhanizirovannyh i avtomatizirovannyh sortirovochnyh gorok: spravochnik]. Moscow, Transport [Transport]. – 208 p.
5. Voronin P. A. (2001). Power semiconductor swithes: Families, characteristics, application [Silovye poluprovodnikovye klyuchi: semeystva, harakteristiki, primenenie]. Moscow, Publish house «Dodeka-XXI» [Izdatel'skij dom «Dodehka-HKHI»]. – 384 p.

6. Nikitin A. B., Kovkin A. N. (2015). Point Machines Control in Computer Systems of Hump Interlocking [Upravlenie strelochnymi ehlektroprivodami v komp'yuternyh sistemah gorochnoj centralizacii]. Automation on Transport [Avtomatika na transporte], vol. 1, issue 1. – Pp. 51–62.
7. Kovkin A. N. (2004). Influence of cable nets on the safety of contactless interface devices functioning [Vliyanie kabel'nyh setej na bezopasnost' funkcionirovaniya beskontaktnyh ustrojstv sopryazheniya]. Proceedings [Sbornik nauchnyh trudov]. St. Petersburg, Petersburg state transport university [Sankt-Peterburg: PGUPS].
8. Inter Electric. Official distributor of Finder in Russia. [Oficial'nyj distrib'yutor Finder v Rossii. Sajt kompanii [ehlektronnyj resurs]. URL: <http://www.finder-relay.ru/katalog>.
9. Sapozhnikov Val. V., Kravcov Yu. A., Sapozhnikov Vl. V. (2008). Theoretical base of railway automation and remote control, textbook [Teoreticheskie osnovy zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki: Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transporta]. Ed. Sapozhnikov Val. V. Moscow, GOU «Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport» [GOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte»]. – 394 p.
10. Sapozhnikov Val. V., Nikitin A. B. (2009). Computer-based interlocking system MPC-MPK [Mikroprocessornaya sistema ehlektricheskoy centralizacii MPC-MPK]. Science and transport [Nauka i transport]. – Pp. 18–21.
11. Bushuev S. V., Uskova M. L., Popov A. N. (2014). Impact Assessment of Technical Diagnosis and Monitoring Systems on Performance Reliability of Railway Automation and Telemechanics Devices in Operation [Ocenka vliyaniya sistem tekhnicheskoy diagnostiki i monitoringa na nadezhnost' raboty ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki v ehkspluatacii]. Transport of the Urals [Transport Urala], issue 3 (42). – Pp. 68–72.
12. Efanov D. V. (2016). Concurrent Checking And Monitoring of Railway Automation and Remote Control Devices, monograph [Funkcional'nyj kontrol' i monitoring ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki: monografiya]. St. Petersburg, Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university [St. Petersburg: FGBOU VO PGUPS]. – 171 p.
13. Bushuev S. V., Nikitin A. B. (2006). Development Tendencies in Power Interlocking and Computer Systems of Train Operation Control on Stations [Tendencii razvitiya ehlektricheskoy centralizacii i komp'yuternyh sistem operativnogo upravleniya dvizheniem poezdov na stanciyah]. Transport of the Urals [Transport Urala], issue 2 (9). – Pp. 14–18.

*Представлена к публикации членом редколлегии В. И. Шамановым
Поступила в редакцию 17.01.2017, принята к публикации 28.02.2017*

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 кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.

e-mail: akovkin@yandex.ru

© Никитин А. Б., Ковкин А. Н., 2017