
Системы и устройства автоматики и телемеханики

УДК 621.313.333+656.257

**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 ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С НЕСИММЕТРИЧНЫМ ОТКАЗОМ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В статье рассмотрены особенности использования мостовых преобразовательных схем для управления двигателями переменного тока в компьютерных системах железнодорожной автоматике. Особое внимание уделено оценке коэффициента полезного действия преобразовательных схем и показано, что применение низкочастотных режимов работы силовых ключей позволяет существенно повысить эффективность преобразователей в составе устройств сопряжения. Предложено техническое решение для реализации пятипроводных схем управления двигателями переменного тока, представляющее собой пятифазную мостовую схему преобразования. Выполнен краткий обзор современной элементной базы, используемой для построения инверторов, дана оценка электронных компонентов с точки зрения возможности подбора аналогов. Кроме того, рассмотрены вопросы применения в составе функциональных преобразователей электромагнитных реле, обеспечивающих повышение надежности и электробезопасности аппаратуры.

функциональный преобразователь; электропривод; трехфазный асинхронный двигатель; безопасное управление; инвертор; мостовая схема; коэффициент полезного действия; широтно-импульсная модуляция; транзисторы с изолированным затвором; малогабаритные реле; механическое размыкание цепи

Введение

Управление напольными объектами в компьютерных системах автоматике железных дорог требует использования специальных устройств сопряжения, имеющих несимметричную характеристику отказов. Такие устройства могут создаваться на основе элементов с несимметричным отказом, в качестве кото-

рых чаще всего рассматриваются электромагнитные реле первого класса надежности. Однако более прогрессивным решением является использование бесконтактных схем на основе полупроводниковой элементной базы. Безопасность в этом случае обеспечивается либо за счет применения функциональных преобразователей с несимметричным отказом, обеспечивающих активизацию исполнительного объекта только при условии динамической работы полупроводниковых элементов, либо путем периодической проверки исправности полупроводниковых ключей и отключения питания от исполнительных объектов в случае обнаружения отказа [1–5].

Безопасное управление электрическими приводами может быть реализовано путем использования всех перечисленных выше методов. В настоящее время наибольшее распространение получают приводы на основе трехфазных асинхронных двигателей переменного тока, существенным преимуществом которых является отсутствие щеточно-коллекторного узла [5]. Важным свойством таких двигателей является то, что вращение ротора возможно лишь при подаче на обмотки двигателя переменного напряжения. Более того, вращение таких двигателей под нагрузкой возможно только при наличии трехфазного напряжения, создающего в обмотках двигателя вращающееся магнитное поле. Указанные особенности трехфазных асинхронных двигателей делают весьма привлекательным использование для управления электроприводами функциональных преобразователей с несимметричным отказом. Схемное решение функциональных преобразователей представляет собой обычный инвертор, преобразующий постоянное напряжение источника питания в переменное трехфазное напряжение, необходимое для работы двигателя.

1 Особенности работы трехфазных инверторов при управлении двигателями в системах железнодорожной автоматики

Преобразователи для трехфазных асинхронных двигателей переменного тока обычно строятся с использованием мостовой схемы [6, 7], формирующей переменное напряжение, необходимое для получения вращающегося магнитного поля в статоре двигателя. Такие преобразователи часто применяются в случаях, когда необходимо обеспечивать работу асинхронных двигателей при отсутствии трехфазной электросети. Кроме того, трехфазные инверторы незаменимы для создания приводов с регулируемой частотой вращения. Частота вращения асинхронного двигателя достаточно жестко связана с частотой питающего напряжения, поэтому задача регулирования частоты вращения сводится к изменению частотных параметров управляющих сигналов на силовых ключах инвертора. Известно, что крутящий момент асинхронного двигателя определяется величиной тока, протекающего через его обмотки. Сопротивление обмоток имеет индуктивный характер, а значит, зависит от частоты. Поэтому,

для поддержания постоянного крутящего момента при изменении частоты вращения, необходимо иметь возможность регулирования напряжения на обмотках двигателя [6]. Это достигается путем использования широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Применение ШИМ позволяет не только регулировать величину напряжения, но и получать форму напряжения, максимально приближенную к синусоиде.

При построении устройств сопряжения, обеспечивающих управление нагрузками мощностью порядка сотен ватт, значимым параметром является коэффициент полезного действия (КПД). Величина КПД важна не только с точки зрения экономии электроэнергии. Данный параметр оказывает непосредственное влияние на массогабаритные показатели устройств, поскольку от величины рассеиваемой мощности зависят габариты теплоотводов в силовых схемах. Кроме того, значительные потери мощности на устройствах сопряжения могут привести к необходимости организации принудительного охлаждения, что повышает стоимость оборудования и способствует снижению его надежности.

Наибольшие потери мощности в преобразовательных схемах имеют место на коммутационных элементах и трансформаторах (при наличии последних). Важным преимуществом мостовых схем преобразования является то, что в случаях, когда не требуется гальваническая развязка и нет необходимости в масштабировании напряжения, нагрузка может подключаться к коммутационным элементам без использования трансформатора. В этом случае при определении КПД учитываются только потери мощности на силовых ключах. При оценке величины КПД принято отдельно рассматривать статические потери (потери проводимости) и динамические потери (потери переключения) [6, 8]. Потери проводимости возникают во время нахождения силовых ключей в открытом состоянии и определяются падением напряжения на ключах при протекании через них тока. Потери переключения возникают в периоды открывания и закрывания ключей, и их величина находится в прямой зависимости от частоты переключения. Использование ШИМ обычно сопряжено с высокой частотой работы ключей, что приводит к наличию значительных потерь переключения. Поэтому применение ШИМ в функциональных преобразователях устройств сопряжения должно быть обоснованным.

Особенностью использования преобразователей для управления двигателями является отсутствие необходимости в обеспечении синусоидальной формы выходного напряжения. Кроме того, при разработке устройств сопряжения для управления стрелочными приводами в системах централизации не ставится задача регулирования частоты вращения и величины напряжения на двигателе. Это означает, что в данной области применения можно отказаться от использования ШИМ и реализовать низкочастотный режим работы силовых ключей, при котором частота переключения будет иметь величину 50 Гц (рис. 1). При такой частоте динамическими потерями можно пренебречь и КПД мостовой схемы будет определяться исключительно потерями проводимости. Это дает

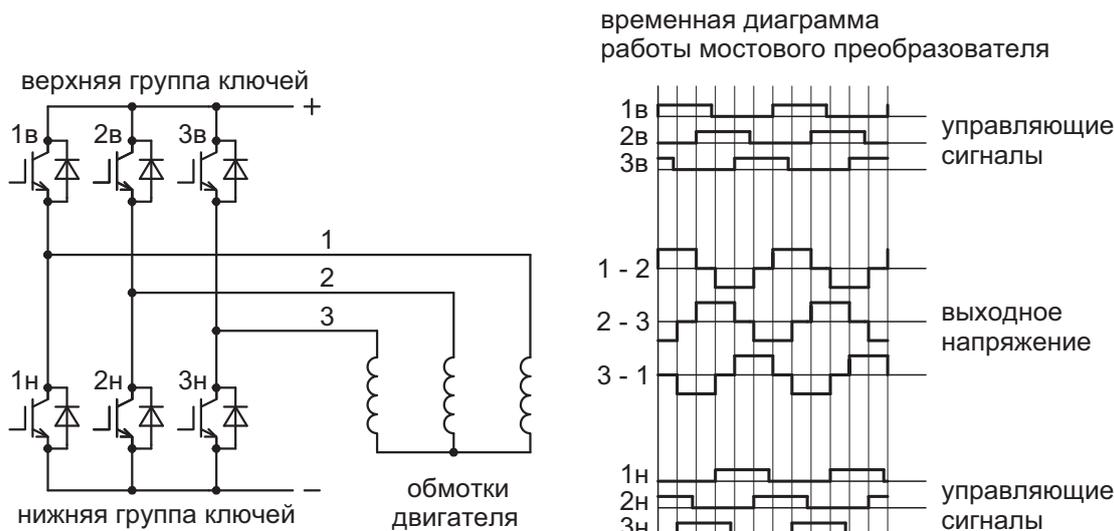


Рис. 1. Управление трехфазным асинхронным двигателем с помощью мостового преобразователя с низкочастотным режимом работы силовых ключей

возможность создавать преобразователи, имеющие КПД выше 95%. Форма напряжения между фазами будет иметь прямоугольный характер с длительностью импульсов, равной $2/3$ от длительности полупериода. Амплитуду напряжения на выходе преобразователя можно считать равной величине постоянного напряжения, подаваемого на мостовую схему. Если питание мостовой схемы осуществляется путем выпрямления и сглаживания переменного напряжения 220 В, на шине питания инвертора будет присутствовать постоянное напряжение около 300 В, а действующее значение выходного напряжения инвертора будет иметь величину порядка 200 В. Это дает возможность осуществлять управление трехфазными асинхронными двигателями МСТ-0,3 и их аналогами с напряжением питания $190 \text{ В}^{+30}_{-5} \%$ [9] без использования трансформаторов.

Высокий КПД в сочетании с повторно-кратковременным режимом работы электроприводов позволяет существенно снизить требования к отводу тепла от силовых компонентов преобразователя. Это означает, что радиаторы в таких устройствах могут иметь незначительные размеры, что, наряду с отсутствием трансформатора, способствует существенному уменьшению габаритов изделия в целом. Таким образом, функциональный преобразователь для управления трехфазными асинхронными двигателями стрелочных электроприводов, использующий низкочастотный режим работы ключей, представляет собой относительно технологичное и компактное электронное изделие, которое может составить достойную конкуренцию устройствам сопряжения, в которых используются иные принципы безопасного управления.

Примером использования трехфазного мостового преобразователя для управления стрелочным электроприводом переменного тока является аппаратура безопасного сопряжения в системе МПЦ-МПК [10]. В последней модификации данной аппаратуры управление стрелочным приводом, контроль положения

стрелки, а также ряд функций, связанных с диагностикой напольного оборудования, реализуются с помощью модуля, выполненного в конструктиве «Евро-механика» и имеющего габариты 262×250×50 мм.

Вместе с тем в некоторых случаях используются двигатели, требующие меньшего значения напряжения. Так, на асинхронный двигатель электромеханического автостопа в метрополитенах требуется подавать напряжение 127 В [11], что создает некоторые проблемы с организацией электропитания преобразователей. Одним из путей решения этих проблем можно считать понижение выходного напряжения инвертора за счет использования ШИМ. Применение ШИМ в целях получения напряжений, близких к синусоиде, можно считать оправданным тогда, когда преобразователь используется в качестве резервного источника питания рабочих цепей стрелок в релейных системах электрической централизации, поскольку при использовании прямоугольных напряжений сложно обеспечить нормальную работу фазоконтрольных блоков.

2 Реализация пятипроводных схем управления трехфазными асинхронными двигателями

При использовании трехфазной мостовой схемы для управления стрелочными электроприводами двигатель подключается к преобразователю без контактов автопереключателя. Двигатель останавливают путем прекращения подачи управляющих сигналов на силовые ключи преобразователя по факту получения контроля крайнего положения стрелки. Реверсирование двигателя осуществляется путем изменения порядка подачи управляющих сигналов на ключевые элементы преобразователя. Недостатком данного решения является отсутствие возможности последовательного перевода спаренных стрелок с помощью одного комплекта аппаратуры, поскольку для этого требуется наличие пятипроводной рабочей цепи [12]. Кроме того, существуют приводы, которые в силу своих особенностей требуют обязательного использования многопроводных схем. Таковым, например, является привод электромеханического автостопа на метрополитенах [11].

Использование в типовых схемах для данного привода пяти проводов рабочей цепи связано с наличием в его составе токоограничивающих дросселей, которые включаются в цепь после открытия автостопа для снижения потребляемой мощности в режиме удержания. Удачным решением для управления подобными приводами является использование многофазных преобразовательных схем. Так, для управления электромеханическим автостопом предложена пятифазная мостовая схема преобразования (рис. 2).

Особенностью функционирования данной схемы является то, что в процессе формирования трехфазного переменного напряжения для двигателя работают три из пяти пар ключей. При этом пара ключей 5 является общей для обоих

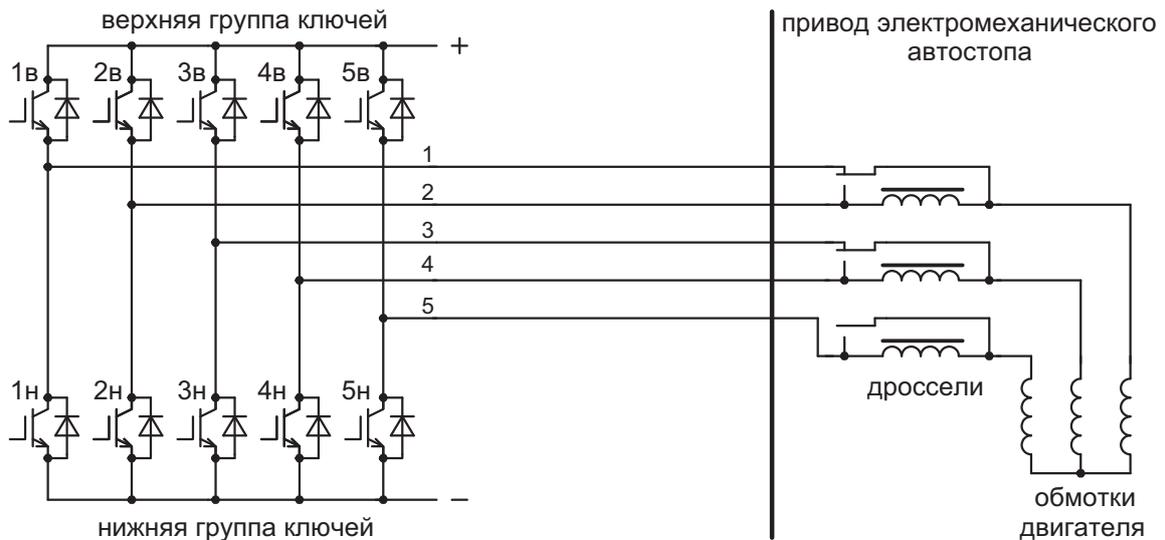


Рис. 2. Использование пятифазной схемы преобразования для управления электромеханическим автостопом

направлений вращения двигателя, а остальные пары используются в зависимости от необходимого направления. При открытии и удержании автостопа задействованы пары 2 и 4. При закрытии автостопа работают пары 1 и 3, питающие две обмотки двигателя в обход токоограничивающих дросселей.

3 Элементная база функциональных преобразователей, используемых для управления электроприводами

В современных схемах преобразователей для мощностей до нескольких десятков киловатт в качестве коммутационных приборов используются полевые транзисторы с изолированным затвором (МОП-транзисторы) или биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT-транзисторы) [6, 8]. Основным достоинством транзисторов с изолированным затвором является незначительное потребление мощности от источника управляющих сигналов, что позволяет использовать для формирования сигналов управления относительно несложные схемотехнические решения, реализуемые, как правило, в микроэлектронном исполнении. При разработке преобразователей для электрических приводов предпочтительным является использование IGBT-транзисторов. Эти транзисторы сочетают в себе положительные качества полевых и биполярных приборов и при величинах рабочего напряжения порядка нескольких сотен вольт имеют меньшую, чем у МОП-транзисторов, величину статических потерь. Диоды, включенные параллельно транзисторам, предназначены для рекуперации энергии, накапливаемой в индуктивной составляющей нагрузки преобразователя. Указанные диоды, как правило, входят в состав современных силовых транзисторов, разработанных для использования в преобразовательных схемах.

Следует отметить, что преобразователи часто выполняются не на отдельных транзисторах, а в виде микросборок, включающих в себя необходимый набор силовых компонентов [6]. В ряде случаев в состав таких микросборок входят схемы формирования управляющих сигналов и схемы защиты преобразователя при аварийных режимах работы. Такие микросборки принято называть интеллектуальными силовыми модулями (IPM). Применение IPM вместо отдельных транзисторов и микросхем является прогрессивным вариантом, поскольку упрощает схемотехнику изделия и уменьшает его габариты. Вместе с тем необходимо учитывать, что в настоящее время конструктивное и схемотехническое исполнение подобных микросборок не стандартизировано. Указанный фактор существенно усложняет подбор аналогов для силовых элементов преобразователей. Поэтому, по мнению авторов, использование отдельных силовых ключей сохраняет актуальность, поскольку позволяет уменьшить зависимость разработчиков от продукции конкретных производителей электронных компонентов.

Управляющие сигналы для силовых ключей трехфазного мостового преобразователя теоретически могут генерироваться вычислительными средствами системы автоматики. Однако на практике предпочтительным является использование отдельного генератора управляющих сигналов. Объясняется это стремлением к более эффективному использованию вычислительных ресурсов системы, а также необходимостью исключения повреждения силовых компонентов при возникновении сбоев в работе управляющего вычислительного комплекса. Ранее для построения таких генераторов использовались транзисторные и микроэлектронные схемы с «жесткой логикой» [8]. Сегодня для этой цели используются микроконтроллеры, что позволяет значительно упростить схемные решения, реализовать более совершенные алгоритмы работы, а также обеспечить легкую перенастройку временных параметров управляющих сигналов без изменения аппаратных средств. Безопасное управление генератором можно обеспечивать разными способами: например, путем подачи питания на генератор от маломощного функционального преобразователя с несимметричным отказом, работающего под воздействием динамических сигналов от управляющего вычислительного комплекса.

При разработке систем железнодорожной автоматики необходимо обеспечивать высокий уровень надежности аппаратуры. Одним из способов повышения надежности является резервирование аппаратных средств. При резервировании устройств сопряжения необходимо учитывать, что выходы основного и резервного комплектов аппаратуры фактически объединены между собой, поскольку работают на одни и те же напольные объекты. Это отрицательно сказывается на эффективности резервирования, поскольку отказы одного комплекта аппаратуры могут влиять на работоспособность другого комплекта. Для снижения вероятности такого влияния желательно иметь возможность механического размыкания выходной цепи неиспользуемых в текущий момент времени аппаратных средств. Более того, механическое размыкание цепи можно использовать

как самостоятельный метод повышения надежности аппаратуры в условиях воздействия перенапряжений, поступающих из кабельных линий, соединяющих устройства сопряжения и исполнительные объекты. Наконец, применение механического размыкания является действенным методом обеспечения электробезопасности для обслуживающего персонала. Это особенно актуально при отсутствии трансформаторов на выходе силовых схем, поскольку в этом случае при пробое силовых ключей существует вероятность появления на элементах кабельной сети и напольных объектов постоянного напряжения опасной для человека величины.

Единственным методом реализации механического размыкания цепи является использование электромагнитных реле или подобных им устройств (например, контакторов). При наличии функционального преобразователя с несимметричным отказом нет необходимости в применении реле, удовлетворяющих требованиям первого класса надежности, и могут быть использованы широко распространенные и недорогие малогабаритные реле, предназначенные для монтажа на печатную плату. Единственное требование к этим реле состоит в том, чтобы их контактная система была рассчитана на рабочий ток, протекающий в цепи исполнительного объекта. Управление этими реле должно быть реализовано таким образом, чтобы включение реле происходило до начала работы преобразователя, а выключение – после окончания работы преобразовательной схемы. Это позволит обеспечить работу реле в режиме коммутации при нулевом токе, исключив тем самым образование дуги и искрения на контактах. В результате срок службы реле будет соответствовать его механическому ресурсу, который обычно на порядок выше электрического ресурса реле при номинальной нагрузке. Поэтому в большинстве случаев ресурс реле не будет являться ограничивающим фактором при определении срока службы аппаратуры. Таким образом, применение электромагнитных реле в составе устройств сопряжения на основе функциональных преобразователей можно считать целесообразным, поскольку это способствует повышению надежности и электробезопасности. При этом термин «бесконтактное устройство сопряжения» будет иметь относительный характер и означать, что полупроводниковая элементная база в таких устройствах обеспечивает безопасность управления, а также берет на себя задачу коммутации рабочего тока в цепи, устраняя тем самым основные недостатки традиционных релейных схем.

Заключение

Использование функциональных преобразователей с несимметричным отказом является перспективным способом реализации безопасного сопряжения для исполнительных объектов, нечувствительных к постоянному току. Такими объектами являются трехфазные асинхронные двигатели, широко применяемые в электроприводах железнодорожной автоматики.

Одним из важнейших критериев эффективности устройств сопряжения на основе функциональных преобразователей, применяемых для мощных нагрузок, таких как двигатели электроприводов, является коэффициент полезного действия. Для достижения высокого уровня КПД и улучшения массогабаритных показателей следует выбирать технические решения, не требующие использования трансформаторов, и избегать высокой частоты переключения коммутационных элементов. В соответствии с этим наиболее подходящим решением являются мостовые схемы преобразования. Одним из примеров практической реализации данной концепции является аппаратура безопасного сопряжения для управления стрелочными приводами переменного тока в системе МПЦ-МПК.

Применение ШИМ, предусматривающей высокую частоту переключения коммутационных элементов, не должно являться самоцелью для разработчика, и оправдано только в тех случаях, когда это действительно необходимо для решения конкретных задач: например, масштабирования напряжений или обеспечения работы элементов, чувствительных к форме переменного напряжения.

Использование мостовых преобразователей открывает широкие возможности для реализации многопроводных схем управления двигателями, что особенно актуально при управлении приводами электромеханических автостопов на метрополитенах, требующими отдельных проводов для разных направлений работы.

При разработке функциональных преобразователей целесообразно ориентироваться на современную элементную базу, выпускаемую широким кругом производителей электронных компонентов. В составе такой элементной базы следует особо выделить биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT-транзисторы) как наиболее подходящие для управления электроприводами. Помимо полупроводниковых компонентов, в схемах функциональных преобразователей вполне оправдано применение малогабаритных реле, реализующих механическое размыкание цепи, поскольку в ряде случаев это позволяет повысить надежность и электробезопасность аппаратуры.

Библиографический список

1. Гавзов Д. В. Методы обеспечения безопасности дискретных систем / Д. В. Гавзов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50.
2. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Х. А. Христов, Д. В. Гавзов ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Транспорт, 1995. – 272 с.
3. Микропроцессорные системы централизации : учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / Вл. В. Сапожников, В. А. Кононов, С. А. Куренков, А. А. Лыков, О. А. Наседкин, А. Б. Никитин, А. А. Прокофьев, М. С. Тря-

- сов ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : 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. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 1994. – 120 с.
 5. Гавзов Д. В. Сравнительная оценка основных принципов обеспечения безопасности устройств сопряжения с учетом современных достижений в области силовой электроники / Д. В. Гавзов, А. Н. Ковкин // Разработка и эксплуатация новых устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2004. – С. 66–69.
 6. Воронин П. А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2001. – 384 с.
 7. Готтлиб И. М. Источники питания. Инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы / И. М. Готтлиб. – М. : Постмаркет, 2000. – 552 с.
 8. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов / Б. Ю. Семенов. – М. : СОЛОН-Р, 2001. – 327 с.
 9. Архипов Е. В. Справочник электромонтера СЦБ / Е. В. Архипов, В. Н. Гуревич. – М. : Транспорт, 1990. – 287 с.
 10. Сапожников Вл. В. Микропроцессорная система электрической централизации МПЦ-МПК / Вл. В. Сапожников, А. Б. Никитин // Наука и транспорт. – 2009. – С. 18–21.
 11. Лаврик В. В. Электрическая централизация стрелок и сигналов метрополитенов / В. В. Лаврик. – М. : Транспорт, 1984. – 239 с.
 12. 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.

Nikitin Alexander B.,

Kovkin Alexey N.

«Automation and Remote Control on Railways» department,
Petersburg State Transport University

Using of functional generators with asymmetrical failure for AC electric drive control

This article examines the particularities of using the bridge converter circuit to control AC motors in railway automation computer systems. Special attention is paid to assessing the coefficient of efficiency of converter circuit, and the article shows, that using of low-frequency modes of power tongs can significantly improve the efficiency of using converters

within interface loops. Also, the article suggests a technical solution for the implementation of the five-wire control circuits for AC motors, which is a five-phase bridge mapping circuit. As part of this work a brief overview of modern electronic components, used to design inverters is carried out, and there is an assessment of electronic components in terms of the selectivity of similar components. In addition, the problems of using within the functional generators the electromagnetic relay, that improve the reliability and electrical safety of equipment, are covered.

functional generator; electric drive; three-phase induction motor; safe control; inverter; bridge circuit; efficiency coefficient; pulse-width modulation; insulated gate transistors; compact relay; mechanical circuit opening

References

1. Gavzov D. V., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. Safety methods for discrete systems. Automation and remote control (*Avtomatika i telemekhanika*), 1994, № 8, pp. 3–50.
2. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Khristov Kh. A., Gavzov D. V. Methods for building up safe microelectronic systems of railway automation. Under the editorship of Vl. V. Sapozhnikov. Moscow, Transport, 1995, 272 p.
3. Sapozhnikov Vl. V., Kononov V. A., Kurenkov S. A., Lykov A. A., Nasedkin O. A., Nikitin A. B., Prokof'ev A. A., Tryasov M. S. Microprocessor-based systems of centralization: textbook for vocational training and colleges of railway transport. Under the editorship of Vl. V. Sapozhnikov. Moscow, GOU «Training center for railway transport education», 2008, 398 p.
4. Safety of railway automation and remote control. Methods and principles of microelectronic SzhAT safety. RTM 32 CSh 1115842.01–94. St. Petersburg, PGUPS, 1994, 120 p.
5. Gavzov D. V., Kovkin A. N. Comparative evaluation of basics for interface loops safety considering the present-day development of power electronics. The development and operation of new devices and systems of railway automation and remote control: collection of research papers. St. Petersburg, PSTU, 2004, pp. 66–69.
6. Voronin P. A. Power semiconductor tongs: lines, characteristics, application. Moscow, Publishing house «Dodeka-XXI», 2001, 384 p.
7. Gottlib I. M. Power supply. Invertors, convertors, line and pulse stabilizers. Moscow, Postmarket, 2000, 552 p.
8. Semenov B. Yu. Power electronics for enthusiasts and professionals. Moscow, SOLON-R, 2001, 327 p.
9. Arkhipov E. V., Gurevich V. N. Reference book of electrician of signaling, centralization and blocking devices. Moscow, Transport, 1990, 287 p.
10. Sapozhnikov Vl. V., Nikitin A. B. Microprocessor system of electric centralization MPC-MPK. Science and transport (*Nauka i transport*), 2009, pp. 18–21.
11. Lavrik V. V. Electric centralization of points and signals of subway. Moscow, Transport, 1984, 239 p.
12. Pereborov A. S., Bryleev A. M., Efimov V. Yu., Kokurin I. M., Kondratenko L. F. Remote control of points and signals: textbook for railway transport universities. Under

the editorship of A. S. Pereborov. 3rd edition, revised and enlarged. Moscow, Transport, 1981, 390 p.

Статья представлена к публикации членом редколлегии

Вал. В. Сапожниковым

Поступила в редакцию 14.08.2015, принята к публикации 26.10.2015

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., 2016