

УДК 681.518.5:004.052.32

**А. Н. Ковкин, канд. техн. наук**

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

## **ИНВЕРТОРЫ КАК СРЕДСТВО БЕЗОПАСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯМИ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

В статье рассмотрены вопросы, связанные с использованием преобразовательных схем, формирующих трехфазное переменное напряжение, для реализации сопряжения управляющего вычислительного комплекса системы микропроцессорной централизации стрелок и сигналов с электрическими приводами станционных стрелок, оснащенными трехфазными асинхронными двигателями переменного тока. В начале статьи рассмотрены современные тенденции развития энергетической электроники в части создания преобразователей электрической энергии и частотно-регулируемого электрического привода. Обозначена проблематика, связанная с использованием частотно-регулируемого привода для управления удаленными электрическими машинами.

В ходе изложения материала сформулированы специфические требования к устройствам управления стрелочными приводами на железнодорожном транспорте и обоснована целесообразность отказа от использования широтно-импульсной модуляции и применения в качестве устройств сопряжения инверторов, предусматривающих низкочастотную работу коммутационных элементов. Рассмотрена схема мостового инвертора, выполненная на основе силовых биполярных транзисторов с изолированным затвором и реализующая формирование ступенчато-прямоугольных напряжений на обмотках двигателя. Кроме того, сформулированы требования к реализации электропитания инверторов в составе устройств сопряжения, в частности определены величины постоянных напряжений на входе инвертора, обеспечивающие величину крутящего момента двигателя, аналогичную той, которая имеет место в существующих системах электрической централизации.

Рассмотрены вопросы практической реализации трехфазных мостовых инверторов с низкочастотной коммутацией на основе современной элементной базы, предложено решение, обеспечивающее оптимизацию временных параметров полупроводниковых ключей. Уделено внимание проблематике согласования инвертора как устройства сопряжения с многоканальными вычислительными структурами безопасных систем железнодорожной автоматики. Предложен способ безопасного формирования управляющих сигналов для силовых ключей инвертора, состоящий в использовании генератора управляющих сигналов, питание которого формируется схемой безопасного логического элемента.

Устройство сопряжения с объектами, функциональный преобразователь, трехфазный асинхронный двигатель, инвертор, низкочастотная коммутация, ступенчато-прямоугольное напряжение, крутящий момент, биполярный транзистор с изолированным затвором, генератор управляющих сигналов

DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-2-121-133

## Введение

Безопасность современной системы железнодорожной автоматики, построенной на основе вычислительных средств, обеспечивается путем многоканальной обработки информации и использования специальных технических решений для сопряжения вычислительного комплекса с управляемыми объектами [1–3]. Решение проблемы безопасности на уровне устройств сопряжения с объектами (УСО) может быть достигнуто путем использования для коммутации цепей исполнительных объектов реле первого класса надежности. Однако такой подход не позволяет реализовать одно из основных преимуществ микропроцессорных систем, состоящее в малых габаритах и высокой технологичности аппаратных средств. Поэтому современные тенденции развития систем железнодорожной автоматики предполагают для непосредственного управления объектами преимущественное использование силовых полупроводниковых ключей и малогабаритных реле с жестко связанными контактными группами (safety relay). Безопасность функционирования аппаратуры в этом случае обеспечивается особым построением схем, исключающим подачу питания на исполнительный объект при возникновении отказов.

Известными принципами обеспечения безопасности в отечественной практике реализации УСО являются программно-аппаратный контроль исправности полупроводниковых коммутационных элементов с гарантированным отключением питания в случае выявления отказа и использование функциональных преобразователей (ФП) с несимметричным отказом, осуществляющих преобразование энергии источника питания за счет динамической работы коммутационных элементов. Учитывая современный уровень развития силовой элементной базы и преобразовательной техники, а также относительную сложность контроля исправности коммутационных элементов и реализации гарантированного отключения, можно утверждать, что использование ФП — перспективное направление в разработке безопасных УСО.

Безопасное поведение УСО на основе ФП при возникновении отказов коммутационных элементов объясняется утратой способности к преобразованию напряжения источника питания, обеспечивающего функционирование исполнительного объекта. Достоинством преобразовательных схем по сравнению с решениями на основе safety relay можно считать отсутствие дефицитной элементной базы и совместимость с современными системами бесперебойного электропитания на основе шин постоянного тока, поскольку в качестве исходного напряжения для преобразования используется именно постоянное напряжение. Применение преобразовательных схем в качестве безопасных УСО наиболее целесообразно в тех случаях, когда нет необходимости в использовании разделительных трансформаторов для обеспечения безопасности, что случается при управлении объектами, нечувствительными к постоянному напряжению.

В современных стрелочных приводах, применяемых на железнодорожных станциях, используются трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. На ротор воздействует вращающееся магнитное поле, которое создается путем подачи на обмотки статора трехфазного переменного напряжения. Важное свойство данной электрической машины с точки зрения безопасного управления — невозможность вращения ротора под воздействием постоянного тока. Это определяет особый интерес к использованию преобразовательных схем, формирующих трехфазное напряжение, в качестве средства управления данным исполнительным объектом. При этом следует определить оптимальный режим работы силовых ключей, обеспечивающий эффективное использование инвертора в качестве устройства управления приводами железнодорожных стрелок. Кроме того, необходимо сформулировать требования к реализации электропитания данного устройства управления и разработать технические решения для безопасного согласования инвертора с управляющими вычислительными средствами.

### **1. Формирование трехфазного переменного напряжения для двигателей стрелочных приводов**

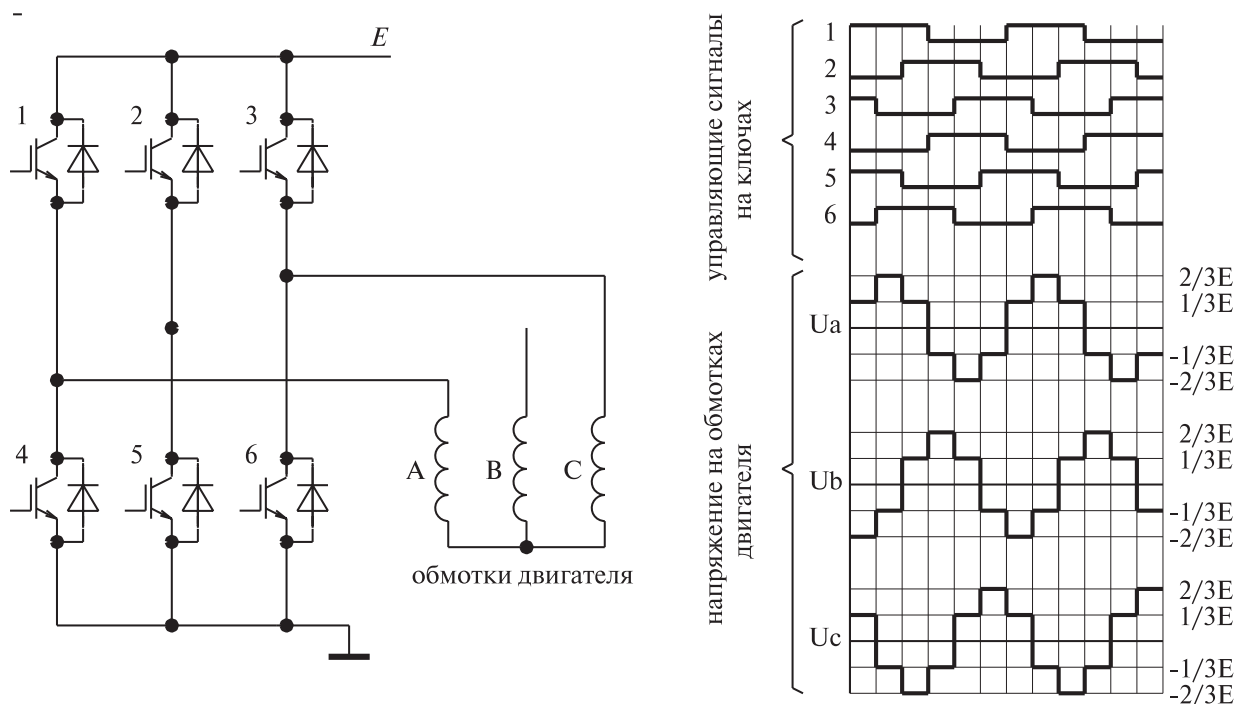
В качестве преобразовательной схемы, позволяющей создавать трехфазное напряжение для двигателей, обычно рассматривается мостовой инвертор напряжения. Одна из областей применения трехфазных инверторов — системы электропитания. В этом случае инверторы используются для получения трехфазного напряжения при наличии первичного источника постоянного напряжения [4]. Относительно несложные преобразователи формировали напряжение прямоугольной или ступенчатой формы. Более прогрессивные технические решения обеспечивали получение синусоидальных напряжений за счет применения различных электрических фильтров и широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Трехфазные инверторы применяются и для реализации частотно-регулируемого электропривода (ЧРП), который сегодня широко используется в промышленности и на транспорте [5].

Одним из основных достижений, связанных с реализацией ЧРП, стала возможность плавного изменения частоты вращения асинхронных и синхронных электрических машин путем изменения частоты трехфазного напряжения. Для сохранения постоянного крутящего момента регулирование частоты следует сопровождать пропорциональным изменением величины напряжения на обмотках двигателя. Чтобы уменьшить потери в обмотках, форма тока должна быть максимально приближена к синусоиде. Указанные требования проще всего обеспечить, используя ШИМ в сочетании с высокой частотой переключения коммутационных элементов преобразователя. В результате применение высокочастотной коммутации фактически стало нормой при разработке преобразовательных устройств. Технические решения, предусматривающие работу коммутационных приборов на низких частотах, весьма редко попадают в поле зрения современных разработчиков.

В случае использования трехфазных инверторов в качестве УСО в железнодорожных системах автоматики такая тенденция нуждается в критической оценке. Связано это с иной «системой ценностей» в данной области, а также с необходимостью централизованного управления объектами, удаленными на большое расстояние. Если речь идет о стрелочном приводе, задача изменения частоты вращения двигателя не ставится. Величина потерь в обмотках не имеет определяющего значения в силу кратковременного режима работы приводов и тепловой инерции двигателей. Фактически преобразовательная схема рассматривается исключительно как средство реализации безопасного управления, а значит, нет необходимости в использовании ШИМ как средства регулирования напряжения и получения синусоидальных токов в обмотках. Необходимо понимать, что значительная протяженность кабельных линий, соединяющих двигатели приводов с преобразовательными устройствами, существенно обостряет проблемы, связанные с высокочастотной коммутацией цепей. Отмечается возможность опасного и мешающего влияния на цепи других устройств, что особенно актуально для систем железнодорожной автоматики. Стоит упомянуть и известные недостатки ЧРП, проявляющиеся при удаленном размещении управляемых двигателей. Во-первых, возникают значительные токи утечки через емкость кабельной линии, что создает дополнительную нагрузку на преобразовательную схемотехнику. Во-вторых, высокая скорость переключения коммутационных элементов преобразователя в сочетании с большой длиной кабеля способствует возникновению импульсных перенапряжений на обмотках двигателей и в конечном счете приводит к преждевременному изнашиванию изоляции обмоточного провода.

Указанные проблемы можно решать путем установки электрических фильтров, обеспечивающих подавление высокочастотных гармоник на выходе преобразователей. Однако применение схем фильтрации нельзя рассматривать в качестве рационального решения при создании микропроцессорных систем централизации, реализующих управление значительным количеством стрелочных приводов, поскольку использование электрических фильтров заметно увеличивает габариты и стоимость аппаратуры.

Учитывая вышесказанное, оптимальным вариантом для безопасного управления стрелочными приводами переменного тока следует считать использование трехфазных мостовых схем преобразования с низкочастотной коммутацией [6–8]. Низкая частота переключения обеспечивает уменьшение динамических потерь на силовых ключах. Это позволяет серьезно сократить размеры радиаторов, реализующих отведение тепла от полупроводниковых компонентов, что способствует заметному улучшению массогабаритных показателей аппаратуры. Схемное решение трехфазного инвертора, реализованное на основе современной элементной базы, а также временная диаграмма, поясняющая работу трехфазного преобразователя при низкочастотном управлении ключами, показаны на рисунке 1.



**Рис. 1.** Схема трехфазного мостового инвертора для управления двигателем стрелочного привода и временная диаграмма работы

Форма напряжения на обмотках двигателя зависит от схемы соединения обмоток и алгоритма управления силовыми ключами. При соединении обмоток по схеме «звезда» и равной длительности открытого и закрытого состояния каждого ключа на обмотках двигателя формируется ступенчато-прямоугольное напряжение, характеризующееся относительно небольшим коэффициентом гармоник, — приблизительно равным 14 % [4].

Величина постоянного напряжения, подаваемого на преобразовательную схему, должна быть такой, чтобы крутящий момент двигателя был эквивалентен моменту, существующему при работе на синусоидальных напряжениях. При определении параметров источника питания преобразовательной схемы за основу можно принять известное положение: крутящий момент асинхронного двигателя при работе на несинусоидальных напряжениях является суммой крутящихся моментов, создаваемых в отдельности каждой гармоникой.

Если не учитывать падения напряжения на открытых ключах, разложение ступенчатого напряжения, формируемого на обмотках двигателя, в ряд Фурье дает следующее выражение для мгновенного значения напряжения [9]:

$$u(t) = \frac{2E}{\pi} \sin \omega t + \sum_{k=5}^{k=\infty} \frac{2E}{\pi k} \sin k\omega t, \quad (1)$$

где  $E$  — величина постоянного напряжения на шине питания инвертора,  $k$  — порядковый номер гармоники напряжения. Первое слагаемое в данном выражении определяет величину основной гармоники. Третья гармоника в ступенчатом

напряжении отсутствует. Для рассматриваемой формы напряжения номер гармоники может принимать только нечетные и не кратные трем значения. Вращающиеся моменты, создаваемые высшими гармониками, имеют различные направления. Гармоники с порядковым номером  $6n + 1$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) создают крутящий момент, совпадающий по направлению с моментом, создаваемым основной гармоникой. Гармоники с порядковым номером  $6n - 1$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) создают крутящий момент противоположного направления. Из формулы (1) видно, что амплитуда напряжения убывает по мере роста номера гармоники. Крутящий момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату напряжения на обмотках статора. Если учесть квадратичную зависимость момента от напряжения, а также то, что моменты, создаваемые высшими гармониками, в силу своей разнонаправленности частично компенсируют друг друга, можно с достаточной для практики точностью считать результирующий момент асинхронной машины равным моменту, создаваемому основной гармоникой напряжения. Учитывая выражение (1), действующее значение напряжения основной гармоники можно определить следующим образом:

$$U = \frac{\sqrt{2}E}{\pi}. \quad (2)$$

Учитывая (2), при заданном значении действующего напряжения основной гармоники постоянное напряжение должно иметь величину:

$$E = \frac{U\pi}{\sqrt{2}}. \quad (3)$$

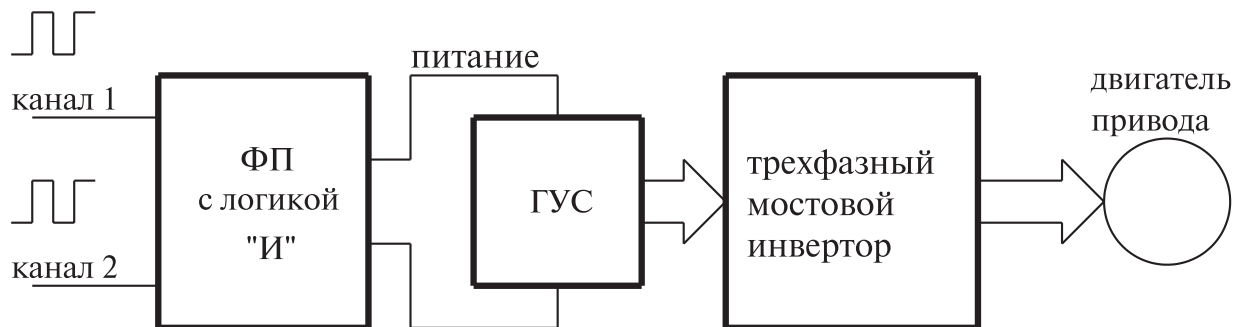
При помощи формулы (3) можно определить величину постоянного напряжения на входе инвертора, обеспечивающую крутящий момент, аналогичный тому, который происходит при эксплуатации стрелочных приводов в релейных системах электрической централизации. Номинальное значение линейного напряжения в рабочей цепи стрелочных приводов принято равным 220 В. Фазное напряжение будет 127 В. Если пренебречь падением напряжения на открытых ключах преобразовательной схемы, то, согласно (3), переменное напряжение 127 В можно получить при величине постоянного напряжения 282 В. Типовое значение напряжения на открытом силовом ключе в современных преобразовательных схемах имеет величину около 1,5 В. Ток двигателя протекает через два открытых транзистора. Поэтому, учитывая потери на ключах, требуемую величину постоянного напряжения целесообразно принять равной 285 В. Для управления удаленными стрелками существующие устройства электропитания формируют напряжения, на 5 % превышающие номинальное значение. С учетом этого при значительном удалении объектов постоянное напряжение на входе инвертора должно иметь величину около 300 В.

## 2. Элементная база трехфазного мостового инвертора и принципы безопасного управления ключами

В современной преобразовательной технике для мощностей порядка нескольких киловатт в качестве полупроводниковых ключей успешно используются полевые транзисторы с изолированным затвором (MOSFET) или биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT) [10–16]. Основным достоинством различных типов транзисторов с изолированным затвором становится минимальное потребление мощности от источника управляющих сигналов, что позволяет использовать для управления ключами относительно несложные схемные решения, реализуемые в микроэлектронном исполнении. Разрабатывая преобразователи для электрических приводов, работающих при напряжениях от 200 В, предпочтительнее использовать IGBT. Эти транзисторы сочетают в себе положительные качества полевых и биполярных приборов и при величинах рабочего напряжения порядка нескольких сотен вольт имеют меньшую, чем у MOSFET, величину статических потерь. Диоды, включенные параллельно транзисторам (рис. 1), используются для рекуперации энергии, накапливаемой в индуктивности нагрузки. Указанные диоды, как правило, входят в состав современных IGBT, разработанных для использования в схемах управления двигателями.

Особенность IGBT (по сравнению с ранее применявшимися полупроводниковыми ключами) — высокое быстродействие. Время включения и выключения современных приборов сокращено до сотен наносекунд, Это положительный момент в условиях высокочастотной работы ключей. В контексте низкочастотной коммутации при наличии протяженных кабельных линий данное свойство ключа будет скорее недостатком, чем достоинством, поскольку усиливает негативные эффекты, связанные с большой скоростью изменения напряжений на выходе преобразовательной схемы.

Существуют различные возможности искусственного ограничения скорости изменения напряжения при использовании быстродействующих силовых ключей [10]. Применительно к силовым ключам с изолированным затвором наименее затратным и довольно эффективным способом ограничения скорости изменения напряжений можно считать увеличение сопротивления в цепи затворов транзисторов. В типовых схемных решениях, работающих на высокой частоте, сопротивление резисторов, включаемых в цепь затворов, обычно имеет величину, не превышающую 100 Ом. В преобразователях, работающих на низких частотах, величина данного сопротивления может быть многократно увеличена. Результаты экспериментальных исследований, проводимых автором, показывают, что оптимальная величина сопротивления резисторов в цепях затворов IGBT при работе на частоте 50 Гц имеет величину порядка единиц кОм. Дальнейшее увеличение сопротивления до десятков кОм и более приводит к заметному ухудшению энергетической эффективности преобразовательной схемы, поскольку динамические потери на ключах возрастают до значений, соизмеримых с величинами потерь проводимости.



**Рис. 2.** Структура безопасного УСО на основе трехфазного мостового инвертора в системе микропроцессорной централизации МПЦ-МПК

Управляющие сигналы для силовых ключей трехфазного мостового преобразователя могут генерироваться вычислительными средствами микропроцессорной системы автоматики. Однако в ходе практической реализации аппаратуры сопряжения предпочтительным вариантом оказывается использование отдельных генераторов управляющих сигналов (ГУС) в составе УСО. 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 применялись транзисторные и микроэлектронные схемы с «жесткой логикой» [4]. Сегодня в основном используется программируемая элементная база (микроконтроллеры), что позволяет значительно упростить схемные решения, реализовать более совершенные алгоритмы работы и обеспечить легкую перенастройку временных параметров управляющих сигналов без изменения аппаратных средств. Непосредственное управление силовыми ключами реализуется с помощью драйверов, которые представляют собой микросхемы, обеспечивающие формирование управляющих импульсов с требуемыми параметрами и защиту силовых полупроводниковых ключей в аварийных режимах [10, 17]. Пример такой реализации безопасного управления инвертором для дублированной безопасной структуры показан на рисунке 2.

В данном примере безопасное управление реализуется путем формирования питания ГУС с помощью ФП малой мощности, реализующих логическую обработку динамических сигналов от управляющего вычислительного комплекса [18, 19].

## Заключение

Перспективным вариантом реализации безопасного управления стрелочными приводами переменного тока в микропроцессорных системах централизации становится использование инверторов — преобразовательных схем, формирующих переменное напряжение. Современная практика использования инверторов



в системах электропитания и частотно-регулируемом приводе предусматривает высокочастотную работу коммутационных элементов с широтно-импульсной модуляцией. Управление стрелочными приводами на железнодорожном транспорте требует иного подхода, что связано с отсутствием задачи регулирования частоты вращения и необходимостью управления двигателями, удаленными на значительное расстояние от преобразовательного устройства. В качестве основных ориентиров при выборе технических решений можно назвать обеспечение минимальных габаритов и стоимости аппаратуры в пересчете на один исполнительный объект, а также минимизацию электромагнитных влияний на цепи других устройств. В указанных условиях наиболее эффективен известный принцип формирования трехфазного напряжения, предусматривающий работу полупроводниковых ключей на частоте 50 Гц.

Инверторы, используемые в качестве устройства сопряжения с приводами, следует создавать на основе современной элементной базы, исключающей необходимость применения сложных схемотехнических решений. В составе устройств сопряжения не должна использоваться крупногабаритная и дорогостоящая элементная база, в частности силовые трансформаторы. Алгоритм управления силовыми ключами должен обеспечивать формирование на обмотках двигателей напряжения ступенчато-прямоугольной формы, характеризующегося минимальным значением коэффициента гармоник.

Основным критерием выбора величины постоянного напряжения, преобразуемого инвертором, становится обеспечение крутящего момента, эквивалентного тому, который реализуется в существующих системах электрической централизации при использовании синусоидальных напряжений. Анализ воздействия ступенчатого напряжения, формируемого на обмотках двигателя, позволяет сделать вывод, что величина крутящего момента определяется напряжением основной гармоники. Соответственно, постоянное напряжение должно быть таким, чтобы среднеквадратичное значение основной гармоники было равно фазному напряжению, обеспечиваемому устройствами электропитания релейных систем электрической централизации. Расчеты показывают, что для выполнения данного условия величина постоянного напряжения должна составлять 285 В.

Оптимальным решением при выборе элементной базы для построения инверторов, обеспечивающих работу нагрузки мощностью порядка единиц кВт, можно считать использование биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT). Свойственная этим транзисторам высокая скорость переключения — недостаток в условиях управления удаленными объектами. Простой и эффективный метод ограничения быстродействия полупроводниковых ключей с изолированным затвором — увеличение сопротивления в цепях затворов. Результаты экспериментальных исследований, проводимых автором, дают основания утверждать, что при работе силовых ключей на частоте 50 Гц наилучшие результаты могут достигаться при величинах сопротивлений порядка единиц кОм.

В ходе практической реализации УСО на основе инверторов неизбежно возникает проблема реализации безопасного управления преобразовательной схемой. Как вариант эффективного решения данной проблемы предложено использование отдельных генераторов управляющих сигналов для каждого исполнительного объекта, питание которых формируется маломощными функциональными преобразователями, работающими под непосредственным управлением вычислительных средств микропроцессорной системы автоматики.

Новизна данного исследования состоит в разработке рекомендаций и технических решений, обеспечивающих эффективное использование известных принципов преобразования электрической энергии для построения безопасной аппаратуры управления стрелочными приводами на основе современной элементной базы. Предложенные решения успешно реализованы в системе микропроцессорной централизации МПЦ-МПК, разработанной специалистами Петербургского государственного университета путей сообщения [20]. Первым объектом внедрения аппаратуры сопряжения с приводами на основе инверторов явилась станция промышленного транспорта в Сургуте на предприятии «Нефтегазоргсинтез». Систему МПЦ-МПК ввели в эксплуатацию на указанной станции в 2007 году. Сейчас аппаратура сопряжения с напольным оборудованием на основе преобразовательных схем введена в постоянную эксплуатацию в составе системы МПЦ-МПК на ряде станций промышленного и магистрального железнодорожного транспорта России, а также на объектах Петербургского метрополитена.

### Библиографический список

1. *Никитин А. Б.* Принципы безопасного сопряжения с объектами в микропроцессорных системах железнодорожной автоматики / А. Б. Никитин, Н. А. Журавлева, А. Н. Ковкин, В. А. Соколов // Автоматика на транспорте. — 2019. — Т. 5, № 2. — С. 186–201.
2. *Brauer H.* Das elektronische Stellwerk EIA / H. Brauer // Signal und Draht. — 1989. — N5. — P. 87–102.
3. *Eue W.* SIMIS-C-Die Kompaktversion des Sicheren Mikrocomputer-sistems SIMIS / W. Eue, M. Gronemeyer // Signal und Draht. — 1987. — Vol. 79, N 4. — P. 81–85.
4. *Gottlieb I. M.* Power Supplies, Switching Regulators, Inverters and Converters: 2<sup>th</sup> Edition / I. M. Gottlieb. — 1994. — 479 p.
5. *Avery P.* The truth about five common VFD myths / P. Avery // Yaskawa. — 2015. — 6 p.
6. *Балуев Н. Н.* Преобразователи для питания стрелочных электроприводов / Н. Н. Балуев, Ю. А. Алешечкин, А. Б. Никитин, А. Н. Ковкин // Автоматика, связь, информатика. — 2012. — № 3. — С. 2–5.
7. *Ковкин А. Н.* Бесконтактное управление электродвигателями в системах автоматики железных дорог и метрополитенов / А. Н. Ковкин // Проблемы безопасности и надежности микропроцессорных комплексов: сб. трудов научно-практической конференции. — СПб.: ПГУПС, 2015. — С. 18–23.
8. *Ковкин А. Н.* Электронное управление электродвигателями в системах железнодорожной автоматики / А. Н. Ковкин, А. М. Костроминов, Ю. И. Ефименко // Электротехника. — 2016. — № 5. — С. 61–65.

9. *Ротанов Н. А.* Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями / Н. А. Ротанов, А. С. Курбасов, Ю. Г. Быков, В. В. Литовченко; под ред. Н. А. Ротанова. — М.: Транспорт, 1991. — 336 с.
10. *Воронин П. А.* Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2001. — 384 с.
11. *Флоренцев С. Н.* Состояние и перспективы развития приборов силовой электроники на рубеже столетий (анализ рынка) / С. Н. Флоренцев // Электротехника. — 1999. — № 4. — С. 2–10.
12. *Wintrich A.* Application manual power semiconductors / A. Wintrich, N. Ulrich, T. Reimann, W. Tursky. — 2010. — 464 p.
13. *Попов А.* Применение IGBT в преобразовательной технике / А. Попов, С. Попов // Новости электроники. — 2013. — № 5. — С. 35–46.
14. *Blake C.* IGBT or MOSFET: Choose Wisely / C. Blake, Ch. Bull // International Rectifier. — 1999. — 5 p.
15. *Chou W.* Ultra-fast 1200V IGBTs reduce switching and conduction losses. — URL: [https://www.researchgate.net/publication/292885929\\_Ultra-fast\\_1200\\_V\\_IGBTs\\_reduce\\_switching\\_and\\_conduction\\_losses](https://www.researchgate.net/publication/292885929_Ultra-fast_1200_V_IGBTs_reduce_switching_and_conduction_losses) (дата обращения: 05.02.2019).
16. IGBT Characteristics. Application Note AN-983 // International Rectifier. — 2012. — 16 p.
17. *Булычев А.* Ключ на плечо! Особенности применения высоковольтных драйверов производства IR / А. Булычев, К. Автушенко // Новости электроники. — 2013. — № 5. — С. 20–26.
18. *Гавзов Д. В.* Бесконтактные УСО для микропроцессорных централизаций. Проблемы безопасности функциональных преобразователей с несимметричным отказом / Д. В. Гавзов, А. Н. Ковкин // Разработка и эксплуатация новых устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики: сб. научных трудов. — СПб: ПГУПС, 2004. — С. 46–49.
19. *Ковкин А. Н.* Практическая реализация логической обработки управляющих сигналов в дублированной безопасной системе с использованием преобразовательных схем / А. Н. Ковкин // Транспорт Урала. — 2019. — № 3. — С. 52–58.
20. *Сапожников В. В.* Микропроцессорная система электрической централизации МПЦ-МПК / В. В. Сапожников, А. Б. Никитин // Наука и транспорт. — 2009. — № 1. — С. 18–21.

#### **A. N. Kovkin**

*The department of "Automation and Remote Control on the Railway",*

*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg*

### **INVERTORS AS MEANS OF SECURE CONTROL FOR ELECTRIC SWITCH MECHANISMS**

Issues related to the use of converting schemes were considered in the article; the latter form three-phase alternating voltage in order to conjugate supervisory computer control system of computer-based interlocking control with electric drives of station switches, equipped with three-phase asynchronous alternating current motors. Modern trends for power electronics were examined at the beginning of the article particularly concerning the development of electric energy transducers and frequency-controlled electric drive. Problems related to the use of frequency-controlled drive for remote electric machinery control were stated.

Specific requirements for point machine control on railway transport were formulated in course of presentation of basic material. Moreover, the appropriateness of pulse-width modulation disuse, as well as application of invertors as conjugation facilities, requiring low-frequency operation of switching elements, was justified. A scheme of bridge inverter performed on the basis of insulated-gate bipolar transistors was examined; the former carrying out the formation of stepwise rectangular voltage at motor windings. The requirements to electric power supply of invertors being part of conjugation facilities were also formulated. Particularly, constant voltage values at the output of the inverter, providing torque data similar to that in the current electric interlocking systems, were determined.

Issues of practical realization of three-phase bridge invertors with low-frequency commutation based on current integrated circuit were considered. A solution providing optimization of timing parameters for semiconductor keys was suggested. Attention was paid to problems of concordance of the inverter as interface with multi-channel computational structures in railway automation security systems. A method of safe formation of control signals for power keys of the inverter, consisting in control signal generator usage, was introduced. It should be noted that the power supply of the latter is formed by means of a safe gate circuit.

Interface, functional generator, three-phase induction motor, inverter, low-frequency commutation, stepwise rectangular voltage, torque, insulated gate bipolar transistor, control signal generator

## References

1. Nikitin A. B., Zhuravleva N. A., Kovkin A. N. & Sokolov V. A. (2019) Printsipy bezopasnogo sopryazheniya s obyektamy v mikroprotsessornykh sistemakh zheleznodorozhnoy avtomatiki [Approaches to secure interfacing with objects in microprocessor-based systems of railway automation]. *Avtomatika na transporte [Transport automation]*, vol. 5, no. 2, pp. 186–201. (In Russian)
2. Brauer H. (1989) Das elektronische Stellwerk EIA. *Signal und Draht*, no. 5, pp. 87–102.
3. Eue W. & Gronemeyer M. (1987) SIMIS-C-Die Kompaktversion des Sicheren Mikrocomputer-systems SIMIS. *Signal und Draht*, vol. 79, no. 4, pp. 81–85.
4. Gottlieb I. M. (1994) Power Supplies, Switching Regulators, Inverters and Converters. 2 Edition, 479 p.
5. Avery P. (2015) The truth about five common VFD myths. *Yaskawa*, 6 p.
6. Baluev N. N., Aleshechkin Yu. A., Nikitin A. B. & Kovkin A. N. (2012) Preobrazovately dlya pitaniya strelochnykh elektroprivodov [Converters for power supply of electric switch mechanisms]. *Avtomatika, svyaz, informatika [Automation, telecommunication, information technology]*, no. 3, pp. 2–5. (In Russian)
7. Kovkin A. N. (2015) Beskontaktnoye upravleniye elektrodvigatelyamy v sistemakh avtomatiki zheleznnykh dorog i metropolitenov [Contactless control of electric motors in systems of railway and subway automation]. *Problemy bezopasnosti i nadezhnosti mikroprotsessornykh kompleksov [Security and reliability issues of microprocessor-based complexes]*. Sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii [Collected papers of research and training conference]. Saint Petersburg, PGUPS [St. Petersburg State Transport University] Publ., pp. 18–23. (In Russian)
8. Kovkin A. N., Kostrominov A. M. & Efimenko Yu. I. (2016) Elektronnoye upravleniye elektrodvigatelyamy [Electronic control of electric motors in railway automation systems]. *Elektrotehnika [Electrical engineering]*, no. 5, pp. 61–65. (In Russian)
9. Rotanov N. A., Kurbasov A. S., Bykov Yu. G. & Litovchenko V. V. (1991) Elektropodvizhniy sostav s asinkhronnymy tyagovymy dvigatelyamy [The electric stock with asynchronous driving motors]. Ed. by N. A. Rotanov. Moscow, Transport Publ., 336 p. (In Russian)

10. Voronin P. A. (2001) Siloviye poluprovodnikovkiye klyuchi: semeistva, kharakteristiki, primeneniye [Power semiconductor keys: range, features, application]. Moscow, “Dodeka-XXI” [“Dodeka-XXI” Publishing house] Publ., 384 p. (In Russian)
11. Florentsev S. N. (1999) Sostoyaniye i perspektivy razvitiya priborov silovoy elektroniki na rubezhe stoletiy (analiz rynka) [Condition and development prospects of power electronics facilities at the turn of the century (market research)]. *Elektrotekhnika* [Electrical engineering], no. 4, pp. 2–10. (In Russian)
12. Wintrich A., Ulrich N., Reimann T. & Tursky W. (2010) Application manual power semi-conductors, 464 p.
13. Popov A. & Popov S. (2013) *Primeneniye IGBT v preobrazovatelnoy tekhnike* [IGBT application in converter equipment]. *Novosti elektroniki* [News of electronic engineering], no. 5, pp. 35–46. (In Russian)
14. Blake C. & Bull Ch. (1999) IGBT or MOSFET: Choose Wisely. *International Rectifier*, 5 p.
15. Chou W. Ultra-fast 1200V IGBTs reduce switching and conduction losses. URL: [https://www.researchgate.net/publication/292885929\\_Ultra-fast\\_1200\\_V\\_IGBTs\\_reduce\\_switching\\_and\\_conduction\\_losses](https://www.researchgate.net/publication/292885929_Ultra-fast_1200_V_IGBTs_reduce_switching_and_conduction_losses) (accessed: 05.02.2019).
16. (2012) IGBT Characteristics. Application Note AN-983. *International Rectifier*, 16 p.
17. Bulychev A. & Avtushenko K. (2013) Klyuch na plecho! Osobennosti primeneniya vysokovoltnykh draiverov proizvodstva IR [Shoulder arms! Application specificities of high voltage IR-production drivers]. *Novosti elektroniki* [News of electronic engineering], no. 5, pp. 20–26. (In Russian)
18. Gavzov D. V. & Kovkin A. N. (2004) Beskontaktniye USO dlya mikroprotsessornykh tsentralizatsiy. Problemy bezopasnosti funktsionalnykh preobrazovateley s nesimmetrichnym otkazom [Non-contact remote terminal unit for computer-based interlocking. Security issues of function generators with asymmetric failure]. *Razrabotka i ekspluatatsiya novykh ustroystv i sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniky* [Elaboration and operation of new facilities and systems of railway automation and remote control]. Sbornik nauchnykh trudov [Collected papers]. Saint Petersburg, PGUPS [St. Petersburg State Transport University] Publ., pp. 46–49. (In Russian)
19. Kovkin A. N. (2019) Prakticheskaya realizatsiya logicheskoy obrabotki upravlyayushchikh signalov v dublirovannoy bezopasnoy sisteme s ispolzovaniyem preobrazovatelnykh skhem [Physical embodiment of logic processing of control signals in a duplicate trustworthy system involving transforming schemes]. *Transport Urala* [The Ural Transport], no. 3, pp. 52–58. (In Russian)
20. Sapozhnikov V. V., Nikitin A. B. (2009) Mikroprotsessornaya sistema elektricheskoy tsentralizatsii MPTs-MPK [Microprocessor-based system of electric interlocking Computer-based Interlocking — Microprocessor Controller]. *Nauka i transport* [Science and transport], no. 1, pp. 18–21. (In Russian)

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А. Б. Никитиным  
Поступила в редакцию 16.02.2020, принята к публикации 03.03.2020*

**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

© Ковкин А. Н., 2020