

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МАЛОГАБАРИТНОГО СТРЕЛОЧНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО

МЕНАКЕР Константин Владимирович, канд. техн. наук, доцент¹; e-mail: menkot@mail.ru
ПУЛЬТЯКОВ Андрей Владимирович, канд. техн. наук, доцент²; e-mail: pultyakov@irgups.ru
ВОСТРИКОВ Максим Викторович, старший преподаватель¹; e-mail: aspirin1979@mail.ru
ОРЛОВ Александр Валерьевич, канд. техн. наук, доцент³; e-mail: suti.orlov@gmail.com

¹Забайкальский институт железнодорожного транспорта, кафедра «Электроснабжение», Чита

²Иркутский государственный университет путей сообщения, кафедра «Автоматика, телемеханика и связь», Иркутск

³Российский университет транспорта (МИИТ), кафедра «Системы управления транспортной инфраструктурой», Москва

Статья посвящена исследованию и усовершенствованию конструкции электродвигателя малогабаритного стрелочного универсального (ЭМСУ) и принципиальной схемы блока управления электродвигателем. Универсальный по питающему напряжению и частоте вращения ротора ЭМСУ был разработан взамен широко применяемых электродвигателей постоянного и переменного тока типов МСП, ДПС, МСТ и МСА. Универсальность ЭМСУ приводит к его массовому внедрению на сети железных дорог Российской Федерации. Отсутствие в свободном доступе информации об особенностях конструкции электродвигателя и принципиальной схемы блока его управления привело к необходимости проведения самостоятельного анализа его конструктива. В ходе работы была проведена разборка ЭМСУ с последующим анализом его механической и электрической частей, сбор и анализ статистической информации по его отказам различного вида, разработаны предложения по усовершенствованию конструктива электродвигателя.

Ключевые слова: электродвигатель; микропроцессорная система управления; выпрямитель; автономный инвертор напряжения; электронный ключ.

DOI: 10.20295/2412-9186-2023-9-04-313-323

▼ Введение

Разработка конструкций универсальных электродвигателей, имеющих возможность электропитания от различного рода тока, ведется как в нашей стране, так и за рубежом [1–5]. Электродвигатель малогабаритный стрелочный универсальный был разработан для применения с различными схемами управления стрелкой и замены электродвигателей постоянного и переменного тока типов МСП, ДПС, МСТ и МСА [6–8]. ЭМСУ является вентильно-индукторным двигателем с самовозбуждением (ВИД). Для электропитания от любого рода тока имеет встроенный трехфазный выпрямитель, инвертор и микропроцессорную систему управления (МСУ). Несмотря на повсеместное распространение ЭМСУ, кроме руководства по эксплуатации [9], информации в общем доступе по его техническому устройству крайне мало. Вопросам исследования надежности работы

электродвигателей, анализа причин отказов и разработки предложений по усовершенствованию их работы посвящено достаточно много научных трудов, в частности [10–13]. Данная работа посвящена исследованию конструктива и принципиальной схемы системы управления ЭМСУ, выявлению недостатков электродвигателя и выработке технических решений по его усовершенствованию.

1. Анализ конструктива ЭМСУ

Конструктивно ЭМСУ, как и любой вентильно-индукторный двигатель с самовозбуждением, по принципу действия прост и похож на шаговый двигатель. Ротор представляет собой зубчатую металлическую конструкцию, набранную из профильных листов электротехнической стали (рис. 1). Статор также представляет зубчатую конструкцию, но с другим числом зубьев и полюсов. Постоянный ток подается на

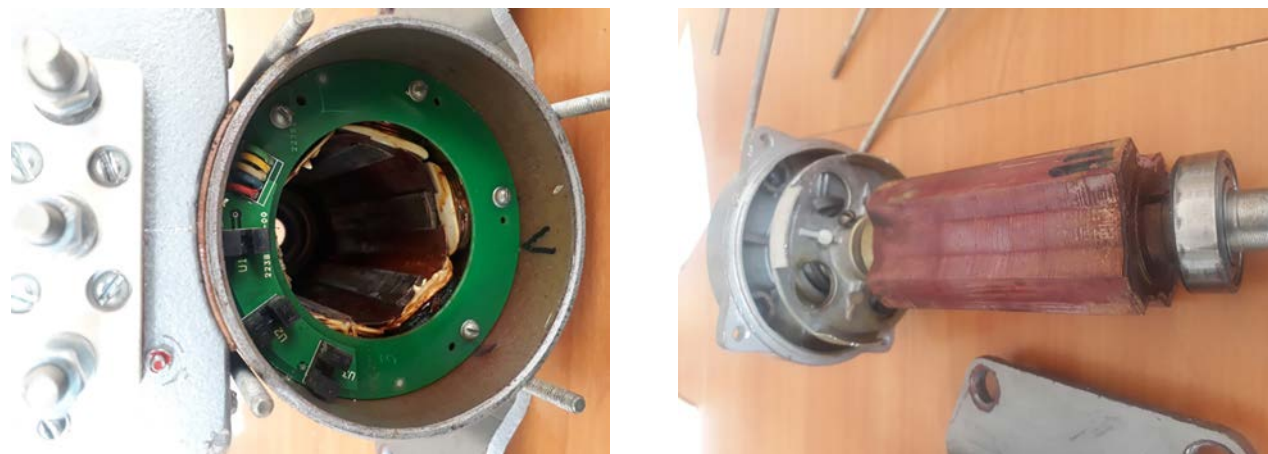


Рис. 1. Электродвигатель ЭМСУ в разобранном состоянии

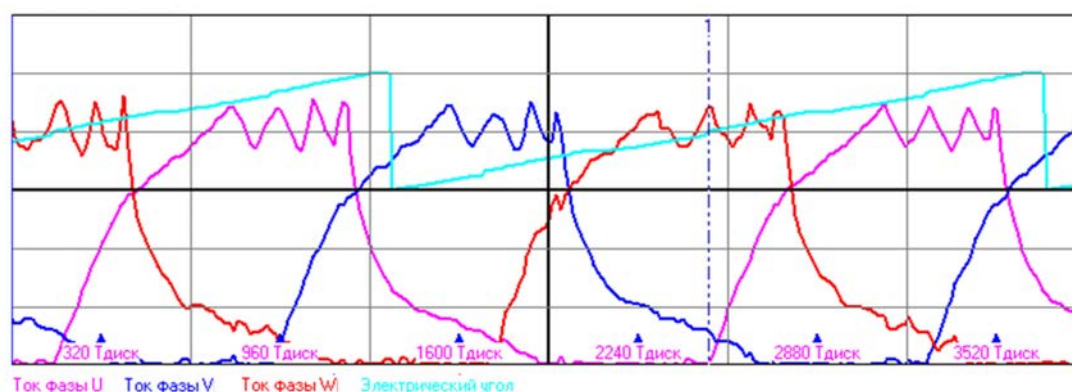


Рис. 2. Форма тока реального ВИД для трех фаз

обмотки статора в соответствии с текущим положением ротора. Фаз может быть разное количество. Фиксация текущего положения ротора может осуществляться различными способами (в ЭМСУ используются три оптических датчика по числу пар полюсов статора, перекрываемых специальным диском, расположенным на валу ротора (рис. 1). Форма тока реального ВИД для трех фаз показана на рис. 2.

Простота вентильно-индукторного двигателя является и его главным недостатком. Двигатель питается однополярными импульсами тока, требует схему многофазного преобразователя напряжения и датчиков положения ротора. Импульсный характер питающего тока зачастую приводит к выходу из строя обмоток статора и коммутационных элементов преобразователя вследствие действия ЭДС самоиндукции обмоток и к пульсациям вращающегося момента. В исследуемом образце ЭМСУ как раз были диагностированы сгоревшие обмотки одного из трех полюсов по причине импульсного характера питающего тока (рис. 3).



Рис. 3. Вышедшие из строя обмотки одного из полюсов ЭМСУ

Импульсный характер работы ВИД также приводит к неравномерности скорости перевода стрелки и уменьшению ресурса подшипников ротора. Данная проблема решается специальным профилированием формы питающего тока, что усложняет схему преобразователя напряжения, а также увеличением количества фаз, что приводит к усложнению конструктива электродвигателя.

2. Анализ принципиальной схемы микропроцессорной системы управления ЭМСУ

В руководстве по эксплуатации ЭМСУ представлены данные по типам его исполнения, отличительным особенностям, приведены основные технические характеристики. В данной работе при рассмотрении и анализе принципиальной схемы блока управления ЭМСУ, представленной на рис. 4, был взят за основу ее базовый вариант, применяемый в модификациях ЭМСУ-СП, ЭМСУ-ВСП и ЭМСУ-Ф. В других исполнениях электродвигателя принципиальная схема системы управления незначительно отличается, и на это будет сделан соответствующий акцент.

Электропитание ЭМСУ и блока его управления обеспечивается через разъем Х2. Диапазон рабочих напряжений от 160 В до 350 В постоянного тока и от 190 В до 250 В трехфазного переменного тока. Контакты клеммной колодки Х2 («1», «2» и «3») соответствуют обозначению токопроводящих проводов «С1», «С2» и «С3» в случае питания переменным трехфазным током и «С1», «Я» и «С2» в случае питания постоянным током. Конденсаторы С1–С3 и индуктивности L1–L3 образуют сетевые фильтры по каждой фазе для подавления кондуктивных помех на первичной стороне, образующихся в результате работы трехфазного инвертора. Одновременно индуктивности L1–L3 выполняют функцию ограничения пусковых токов при коммутации рабочей цепи схемы управления стрелкой. Подобные общетехнические решения подробно описаны в [14–17].

Блок коммутации цепи электропитания, включающий в себя два реле Р1 и Р2 и выпрямители D1 и D2, предназначен для гальванического снятия напряжения с выпрямителя и трехфазного инвертора в период действия контрольного режима.

При появлении трехфазного напряжения на клеммах «1», «2» и «3» клеммной колодки Х2 или постоянного напряжения на клеммах «1» и «2» или «3» и «2» (в зависимости от направления вращения электродвигателя) посредством выпрямителей D1 и (или) D2 напряжение подается на обмотку реле Р1 через тыловой

контакт реле Р2.1 и сопротивление R3. При срабатывании реле Р1 посредством его фронтального контакта Р1.3 коммутируется цепь питания обмотки реле Р2 через сопротивление R4. В результате реле Р1 встает под ток через собственный фронтальный контакт Р1.1 и фронтальный контакт Р2.2. Реле Р2 встает на самоблокировку через собственный контакт Р2.3. Реле Р1 и Р2 остаются под током до момента снятия напряжения в рабочей цепи и обеспечивают своими фронтальными контактами Р1.4, Р2.4, Р1.5 и Р2.5 коммутацию выпрямителя и трехфазного инвертора от цепи питания.

Варисторы U1–U3 обеспечивают защиту схемы выпрямителя и инвертора от возможных перенапряжений. Схема выпрямителя состоит из двух мостов D3 и D4, соединенных общей точкой. Схема позволяет обеспечить выпрямление как трехфазного напряжения, подаваемого на клеммы «1», «2» и «3» клеммной колодки Х2, так и однополярный пропуск тока в случае питания электродвигателя постоянным током при обоих направлениях его вращения.

Схема, построенная на сопротивлениях R5, R6, выпрямителях D5, D6 и оптронах BL1, BL2, обеспечивает определение рода питающего тока и направление вращения электродвигателя. При наличии трехфазного напряжения на клеммах колодки Х2 на выходах оптронов BL1 и BL2 появляются импульсы напряжения, начальные фазы которых соответствуют фазам питающего напряжения и зависят от направления вращения электродвигателя. При переводе стрелки и питании электродвигателя постоянным током в зависимости от направления его вращения на выходе одного из оптронов BL1 или BL2 появляется постоянное напряжение и сигналы с оптронов подаются на вход МСУ.

МСУ генерирует управляющие импульсы на затворы IGBT транзисторов VT1–VT6, которые обеспечивают пропуск тока через обмотки Fa, Fb и Fc электродвигателя в соответствии с сигналами датчика положения ротора (ДПР) и заданным направлением вращения. Ротор начинает вращаться с заданной частотой и в заданном направлении.

В ЭМСУ предусмотрены дополнительные аппаратно-программные средства защиты от

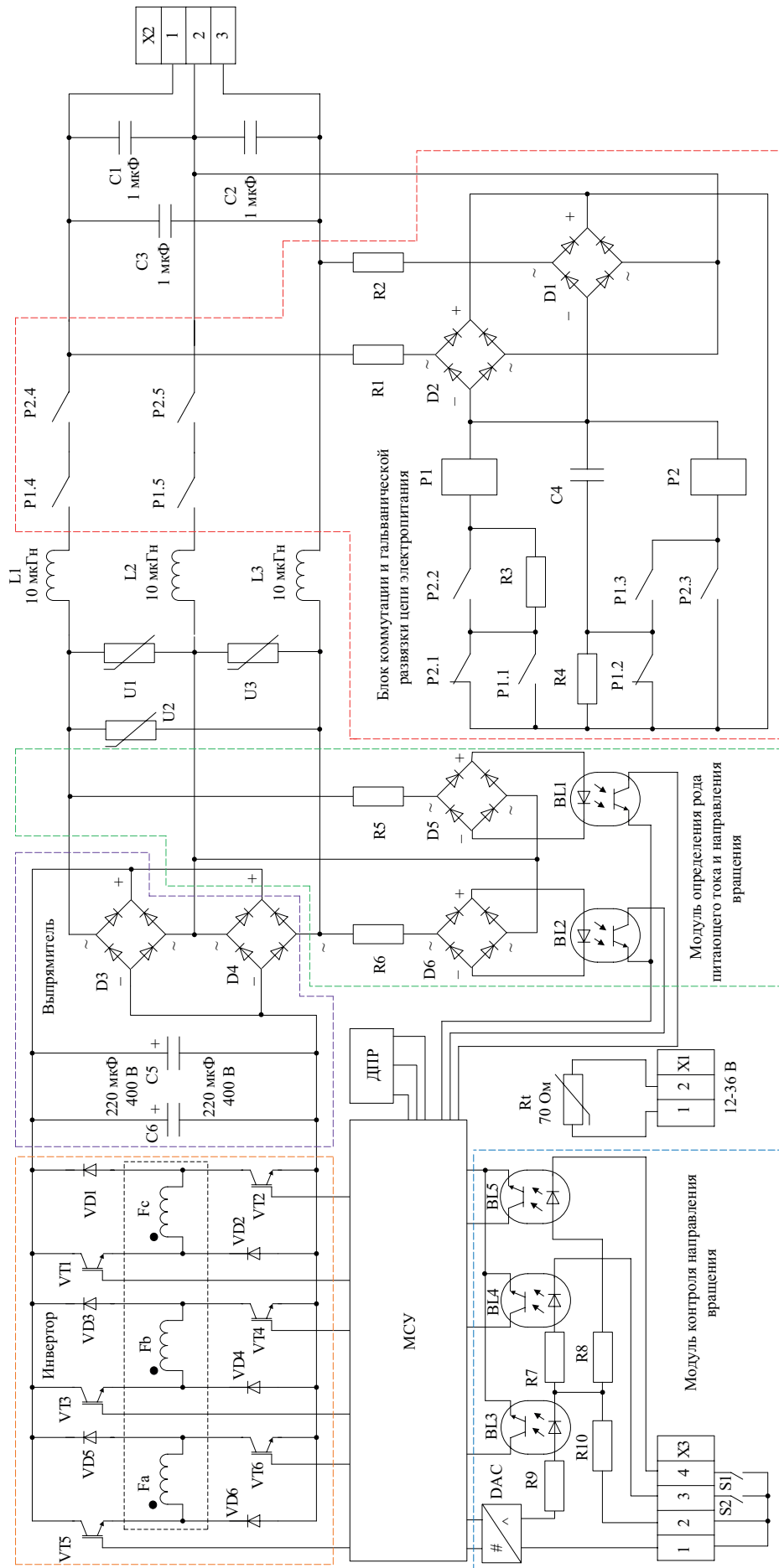


Рис. 4. Принципиальная схема блока управления ЭМСУ

несанкционированной работы. Ключи в цепях контактов «3» и «4» клеммной колодки ХЗ при замкнутых контактах «1» и «2» разрешают или запрещают вращение электродвигателя в ту или другую сторону соответственно.

Данная проверка осуществляется путем пропуска тока, полученного с цифро-аналогового преобразователя DAC через делители напряжения R7–R10, оптроны BL3–BL5 и контакты S1, S2. При замкнутом контакте S2 срабатывают оптроны BL3, BL4 и МСУ логически разрешает «правое» вращение вала электродвигателя. Замкнутый контакт S1 приводит в рабочее состояние оптроны BL3, BL5 и МСУ логически разрешает «левое» вращение вала электродвигателя. При разомкнутых контактах S1 и S2 срабатывает один оптрон BL3 и МСУ логически запрещает вращение вала электродвигателя.

В модификациях ЭМСУ типа ЭМСУ-СПГ, ЭМСУ-ФГ и ЭМСУ-ВСП разъем ХЗ отсутствует. В модификациях ЭМСУ типа ЭМСУ-СПГ, ЭМСУ-ФГ, ЭМСУ-СПМ, ЭМСУ-ВСПМ схема коммутации цепи электропитания, включающая в себя два реле P1 и P2 и два выпрямителя D1 и D2, отсутствует [9].

При пробое или обрыве любого транзистора или диода в схеме инвертора вращение электродвигателя становится невозможным вследствие действия постоянной составляющей тока на обмотке. Пробой двух транзисторных ключей в одном плече приводит к перегоранию предохранителя в линейном питающем проводе (на посту электрической централизации) и остановке электродвигателя. Дополнительно обрыв любой линии диагностируется МСУ. В случае неисправности схемы определения рода питающего тока и направления вращения электродвигателя его работа также прекращается.

Для обеспечения работы электродвигателя при отрицательных температурах в электронном блоке управления установлено сопротивление номиналом 70 Ом, подключенное к клеммной колодке Х1, на которую подается напряжение от 12 до 36 В.

Наличие микропроцессорного управления ЭМСУ дает дополнительные возможности, в частности программным способом устанавливать требуемое число оборотов в пределах от 500

об/мин до 2850 об/мин. На сегодняшний день такая опция предусмотрена только в заводских условиях. В качестве предложений по усовершенствованию можно предложить аппаратные или программные способы изменения числа оборотов ЭМСУ в условиях ремонтно-технологических участков дистанций сигнализации, централизации и блокировки. Кроме этого, обеспечивается плавность подхода остряка к рамному рельсу, реализуются функции «электронной фрикции» и диспетчерского контроля широкого ряда электрических параметров.

Несмотря на множество преимуществ новых электродвигателей перед их предшественниками, отметим выявленные в ходе их эксплуатации проблемы: перегорание обмоток статора и транзисторных ключей в результате импульсного характера питающего тока, нестабильная работа при низких температурах; отказ электронных компонентов схемы управления; нестабильная работа программного обеспечения; ослабление крепления блока управления в результате нестабильности оборотов вращения ротора.

3. Исследование действующей схемы преобразователя напряжения на базе автономного инвертора

Для проведения исследований работы электродвигателей широко применяется их моделирование [18–21], которое позволяет выявить недостатки и подтвердить правильность и корректность предлагаемых решений.

Трехфазный регулируемый преобразователь постоянного напряжения (ППН) в блоке управления ЭМСУ выполнен на базе автономного инвертора напряжения (АИН) по однотактной мостовой схеме с прямым включением диода, как показано на рис. 4. Каждая фаза (плечо) трехфазного инвертора представлена двумя транзисторами и двумя диодами в соответствующих диагоналях обмотки электродвигателя (рис. 5).

При одновременном включении транзисторов VT1 и VT2 на соответствующей обмотке электродвигателя появляется напряжение положительной полярности. При закрытии транзисторов VT1 и VT2 за счет энергии, запасенной в индуктивности, возникает ЭДС самоиндукции обратной полярности, диоды VD1

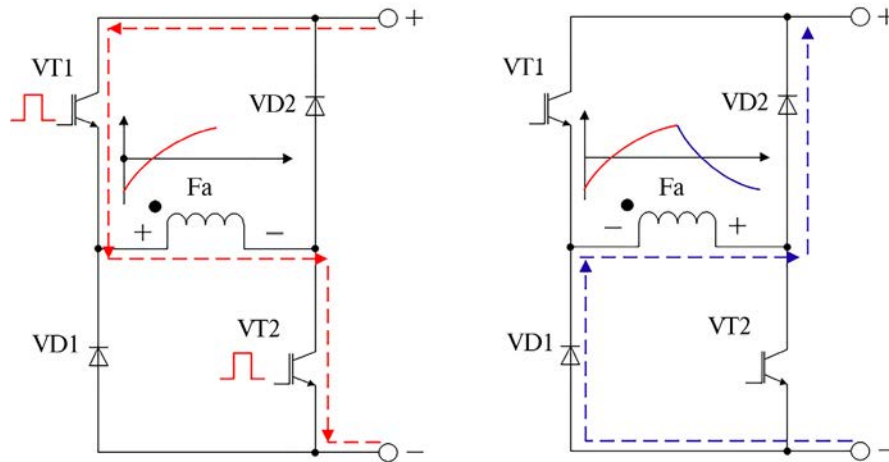


Рис. 5. ППН на базе АИН по одноконтурной мостовой схеме с прямым включением диода

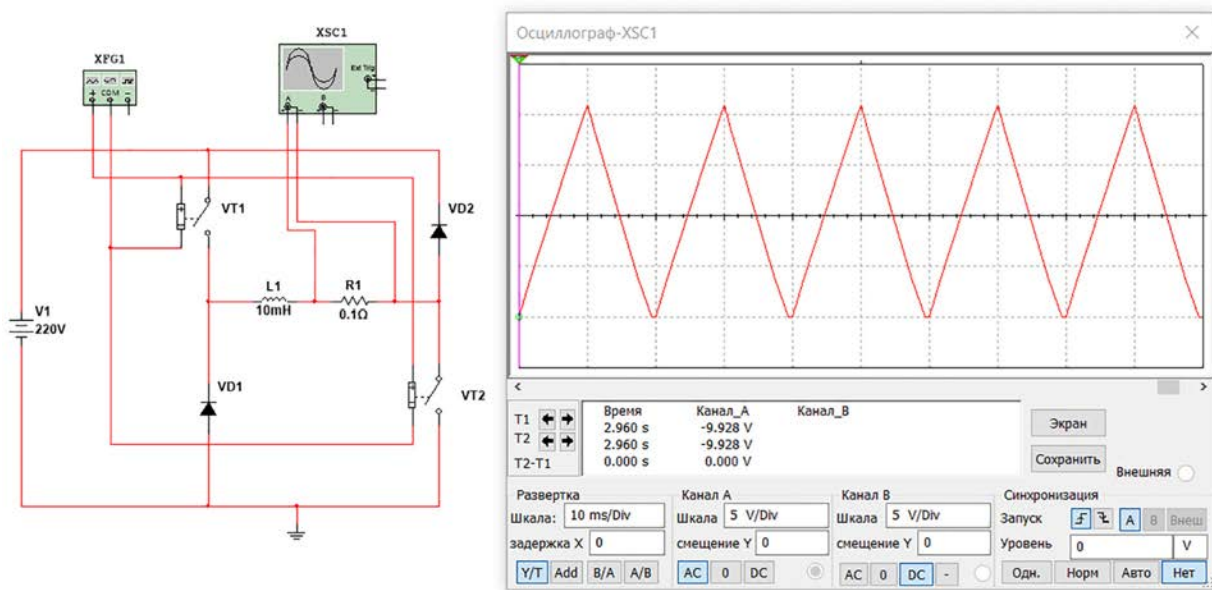


Рис. 6. Имитационная модель ППН на базе АИН по одноконтурной мостовой схеме с прямым включением диода

и VD2 открываются и энергия, накопленная в обмотке, отдается в источник электропитания. Работа транзисторных плеч во времени сдвинута на 120° . Данная схема применяется в источниках питания мощностью до нескольких сот ватт и не отличается высоким качеством преобразованного сигнала. Этот факт был подтвержден в ходе испытаний имитационной модели схемы инвертора, представленной на рис. 6, созданной в программном комплексе Multisim 14.0 [22].

Преобразованный сигнал на выходе применяемого в ЭМСУ инвертора далек от синусоидальной формы и изменяется по экспоненциальному закону во время насыщения индуктивности обмотки электродвигателя и

во время действия ЭДС самоиндукции при закрытых транзисторах. Данный факт приводит к действию высших гармонических составляющих, ускоренному старению изоляции обмоток электродвигателя, интенсивному выходу из строя обмоток статора и транзисторных ключей, на которые приходится до 20 % от всех отказов, согласно результатам исследований, представленным в работах [11, 13].

В связи с этим авторами предлагается усовершенствовать действующую схему преобразователя напряжения путем незначительного изменения соединений элементов и корректировки программного обеспечения с целью перепрофилирования формы питающего тока до синусоидального.

3. Предложения по усовершенствованию действующей схемы преобразователя напряжения

Авторами предлагается на имеющейся элементной базе реализовать трехфазную мостовую схему АИН на полностью управляемых вентилях, представленную на рис. 7.

В данной схеме АИН транзисторы каждого плеча управляются от схемы управления противофазными, широтно-импульсными модулированными сигналами (ШИМ). Работа транзисторных плеч во времени сдвинута на 120°. ШИМ-сигнал предлагается генерировать программным способом в МСУ электродвигателя.

С целью предварительного изучения аналогового способа получения ШИМ-сигнала была разработана соответствующая имитационная модель одного плеча, представленная на рис. 8.

Получение ШИМ-сигнала осуществляется путем сравнения синусоидального и пилообразного сигналов на компараторе. Частота синусоидального сигнала выбирается равной частоте сигнала на выходе инвертора, а амплитуда — чуть менее амплитуды пилообразного сигнала. Длительность пилообразного сигнала в классических схемах составляет 50 %, а его частота зависит от качества желаемого сигнала на выходе инвертора.

При частоте сигнала на выходе инвертора 50 Гц частота пилообразного сигнала должна быть не менее 500 Гц, а в качественных схемах доходить до нескольких десятков кГц. Длительность полученных на выходе компаратора импульсов определяется моментами времени пересечения синусоидального и пилообразного сигналов. При действии амплитудного

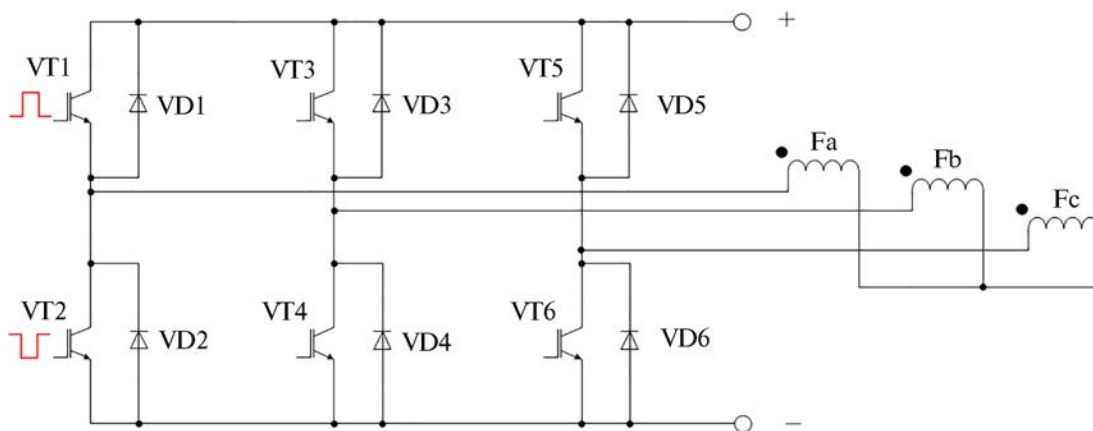


Рис. 7. Принципиальная схема трехфазного мостового АИН при соединении нагрузки звездой

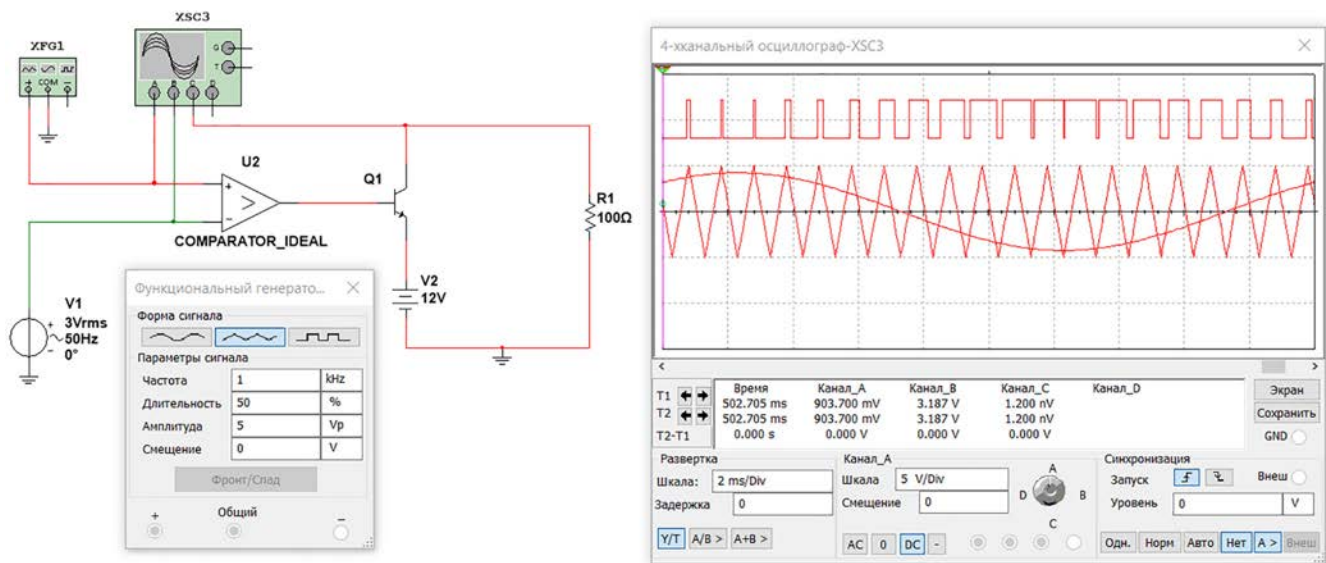


Рис. 8. Аналоговая схема получения ШИМ-сигнала

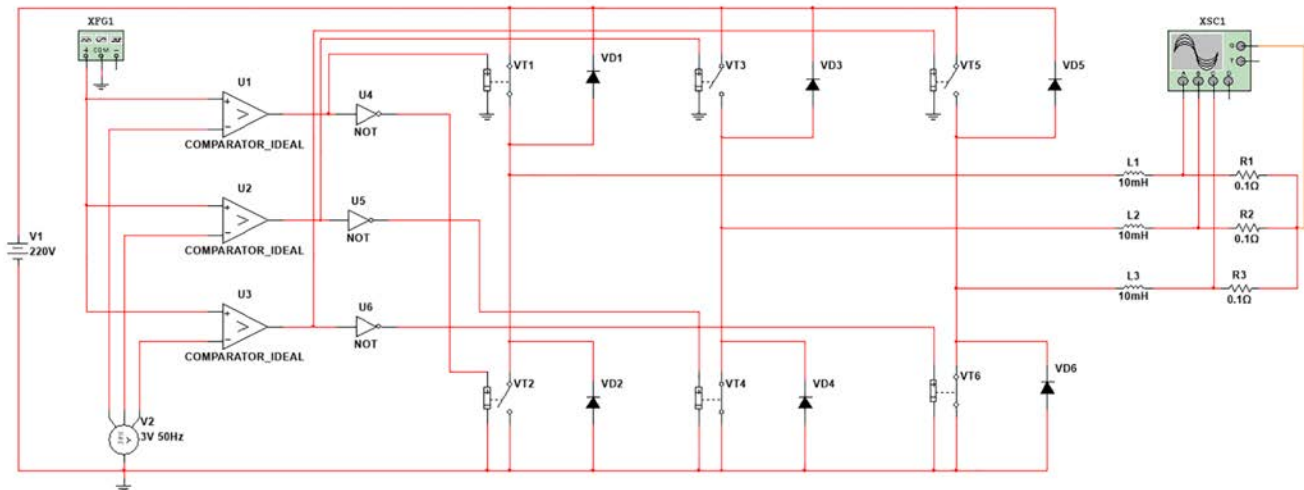


Рис. 9. Имитационная модель трехфазного мостового АИН

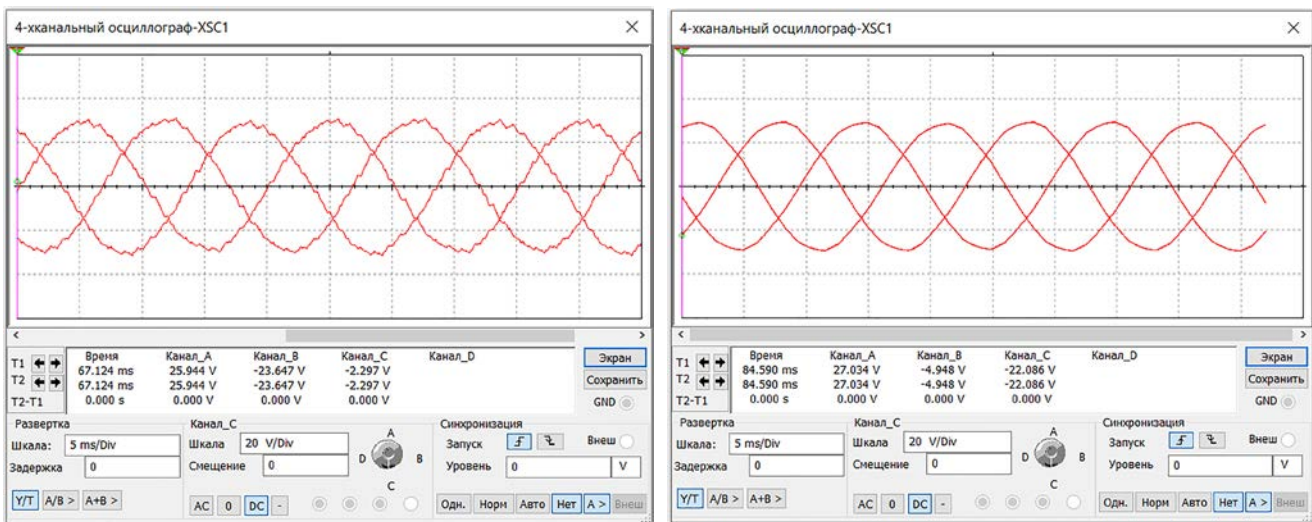


Рис. 10. Оциллограммы напряжения на обмотках электродвигателя при частоте пилообразного сигнала 1 и 10 кГц соответственно

значения положительной полуволны синусоидального сигнала на выходе компаратора действуют импульсы малой длительности. По мере уменьшения амплитуды синусоидального сигнала длительность импульсов увеличивается, достигая максимальной величины в момент времени действия амплитудного значения отрицательной полуволны.

С целью изучения качества выходного сигнала в схеме трехфазного мостового АИН была разработана имитационная модель в программном комплексе Multisim 14.0, которая представлена на рис. 9.

Оциллограммы напряжения, полученные в имитационной модели на активных составляющих сопротивлений R1, R2, R3 обмоток электродвигателя L1, L2, L3 при частоте

пилообразного сигнала 1 и 10 кГц соответственно представлены на рис. 10.

Анализ оциллограмм подтверждает высокое качество сигналов, полученных при работе трехфазного мостового АИН даже при частоте пилообразного сигнала в 1 кГц. При увеличении частоты данного сигнала до 10 кГц на выходе инвертора наблюдается чистый синусоидальный сигнал.

Таким образом, предложение по усовершенствованию схемы инвертора ЭМСУ не коснется изменения перечня элементов и их количества, а также размещения элементов на печатной плате. Изменению подвергнется лишь топология соединения транзисторных ключей с их заменой на транзисторы с защитными диодами. Возможно также применение

внешних защитных диодов из числа уже имеющихся в действующей схеме.

При этом усовершенствованная схема трехфазного инвертора позволит перепрофилировать форму питающего тока с импульсно-экспоненциального до синусоидального, что обеспечит стабильность оборотов электродвигателя, повысит надежность работы его обмоток и электронных ключей, уменьшит старение изоляции обмоток за счет уменьшения спектра высших гармоник, повысит ресурс подшипников.

Заключение

В данной работе проведен полный анализ конструктива ЭМСУ и схемы его управления. Выявлено, что ЭМСУ относится к вентильно-индукторным двигателям со всеми присущими этому типу двигателей достоинствами и недостатками. Микропроцессорная схема управления электродвигателя выполнена на базе автономного трехфазного инвертора напряжения (АИН) по однотактной мостовой схеме с прямым включением диода. Вследствие импульсного характера выходных сигналов указанная схема обладает рядом существенных недостатков, которые проявляются в виде:

- значительного числа пробоев обмоток статора и ключевых элементов вследствие действия обратной электродвижущей силы;
- неравномерности вращения вала электродвигателя;
- вибраций, связанных с действием высших гармоник;
- интенсивного износа изоляции и подшипниковых узлов.

С целью повышения надежности ЭМСУ авторами предложено провести модернизацию схемы инвертора МСУ путем ее трансформации в трехфазную мостовую схему на полностью управляемых вентилях с ШИМ-управлением. ШИМ-управление предложено организовать программным путем без существенных схемотехнических изменений. Данные аппаратно-программные изменения позволят осуществить профилирование формы питающего тока к синусоидальной форме и исключить указанные недостатки МСУ.

В целом предложенные схемотехнические решения по усовершенствованию МСУ позволят значительно повысить ресурс электродвигателя без значительных и дорогостоящих технологических изменений процесса его изготовления. ▲

Библиографический список

1. Abdeljawed H. B. Simulation and rapid control prototyping of DC powered universal motors speed control: Towards an efficient operation in future DC homes / H. B. Abdeljawed, L. E. Amraoui // *Engineering Science and Technology*. — 2022. — Pp. 2–7.
2. Syrigos S. P. An alternative universal motor drive with unity power factor operating in DC and AC modes / S. P. Syrigos, E. C. Tatakis // *XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM)*. — Lausanne, 2016. — Pp. 962–968.
3. Stal'naya M. I. To the question of development of the universal model of a three-phase electric motor with the use of computer simulation tools / M. I. Stal'naya, S. Yu. Eremochkin // *Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) — proceedings APEIE-2018: 14th international scientific-technical conference*. — Novosibirsk: NSTU, 2018. — Pp. 439–444. — DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545924.
4. Lee T.-W. Control of c-dump converters fed switched reluctance motor on an automotive application / T.-W. Lee et al. // *Electric Power Systems Research*. — 2007. — Vol. 77. — Iss. 7. — Pp. 804–812.
5. Nakamura K. Electromagnetic and motion-coupled analysis for switched reluctance motor — based on reluctance network analysis / K. Nakamura, K. Kimura, O. Ichinokura // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. — 2005. — Vol. 290–291. — Part 2. — Pp. 1309–1312.
6. Ганеев Э. А. Универсальный стрелочный электродвигатель / Э. А. Ганеев, А. Ю. Грайфер // *Автоматика, связь, информатика*. — 2013. — № 1. — С. 16–17.
7. Кондратюк Т. В. О внедрении новых электродвигателей для стрелочных горочных приводов / Т. В. Кондратюк, М. В. Копанев, О. И. Монида // *Молодая наука Сибири*. — 2021. — № 1(11). — С. 277–282.
8. Янин, А. О. Перспектива замены стрелочных электродвигателей на железной дороге / А. О. Янин, Д. В. Трофимчук, Е. П. Епифанова // *Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке*. — 2022. — Т. 1. — С. 163–168.
9. Электродвигатель малогабаритный стрелочный универсальный ЭМСУ-СП и его модификации. Руководство по эксплуатации 22381-00-00 РЭ. — ООО ЭТЗ «ГЭКСПАР». — 2022. — 34 с.
10. Pulyakov A. V. Universal control method of auxiliary electric motors / A. V. Pulyakov, M. P. Dunaev, G. O. Arsentyev // *Proceedings of the International Conference "Aviamechanical engineering and transport" (AVENT 2018)*. — Irkutsk: Atlantis Press. — 2018. — Pp. 109–113. — DOI: 10.2991/avent-18.2018.21.
11. Копанев М. В. Управление надежностью асинхронных двигателей путем введения контроля их параметров /

- М. В. Копанев, М. О. Арсентьев // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. — Иркутск: ИрННТУ. — 2016. — С. 36–39.
12. Бондарчук А. П. Система управления приводом на основе бесколлекторного электродвигателя постоянного тока / А. П. Бондарчук // Молодежная школа-семинар по проблемам управления в технических системах имени А. А. Вавилова. — 2021. — Т. 1. — С. 30–33.
 13. Копанев М. В. Выявление причин отказов стрелочных электроприводов с использованием экспертной системы / М. В. Копанев, Л. Я. Кучера // Транссиб: на острие реформ. — 2016. — С. 230–234.
 14. Бурков А. Т. Электроника и преобразовательная техника / А. Т. Бурков. — М.: УМЦ по обр. на ЖДТ. — 2015. — 308 с.
 15. Кулинич Ю. М. Электронная преобразовательная техника / Ю. М. Кулинич. — М.: УМЦ по обр. на ЖДТ. — 2015. — 204 с.
 16. Бабакин В. И. Силовая преобразовательная техника в электроприводах / В. И. Бабакин, О. В. Кабаргина; ГОУ ВПО УГНТУ. — Уфа: УГНТУ. — 2010. — 52 с.
 17. Муфаздалов И. Р. Силовые электронные преобразователи и их элементы / И. Р. Муфаздалов // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакос-

мической отрасли. — Казань: КГТУ им. А. Н. Туполева, 2018. — С. 226–229.

18. Копанев М. В. Моделирование режимов работы двигателя ЭМСУ в среде MATLAB / М. В. Копанев, В. А. Алексеев, М. В. Кузин // Цифровые инфокоммуникационные технологии: сб. науч. тр. — Ростов-на-Дону: РГУПС. — 2021. — С. 157–161.
19. Беляев В. П. Моделирование асинхронного электропривода с ШИМ-управлением и упругими связями / В. П. Беляев // Энергия и менеджмент. — 2014. — № 1(76). — С. 30–33.
20. Федоров С. В. Разработка имитационной модели трехканального ШИМ-контроллера в Multisim / С. В. Федоров // Шаг в науку. — 2022. — № 2. — С. 16–22.
21. Юрченко О. Н. Математическая модель резонансного транзисторного инвертора напряжения с низкочастотной импульсной модуляцией / О. Н. Юрченко, В. Я. Гуцалюк, П. Ю. Герасименко, И. О. Слесаревский // Техническая электродинамика. — 2011. — № 1. — С. 24–30.
22. Колесникова Т. Multisim 14.0 — новые возможности и их практическое применение / Т. Колесникова // Компоненты и технологии. — 2016. — № 2(175). — С. 98–108.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2023, Vol. 9, No. 4, pp. 313–323
DOI: 10.20295/2412-9186-2023-9-04-313-323

Improvement of the Control Block Scheme for a Compact Universal Point Motor

Information about authors

Menaker K. V., PhD in Engineering, Associate professor¹. E-mail: menkot@mail.ru
Pul'tyakov A. V., PhD in Engineering, Associate professor². E-mail: pultyakov@irgups.ru
Vostrikov M. V., Senior lecturer¹. E-mail: aspirin1979@mail.ru
Orlov A. V., PhD in Engineering, Associate professor³. E-mail: suti.orlov@gmail.com

¹Zabaikalsk Rail Transport Institute — branch of Irkutsk State Transport University, Department “Electricity Supply”, Chita

²Irkutsk State Transport University, Department “Automation, Telemechanics and Communications”, Irkutsk

³Russian University of Transport (MIIT), Department “Transport Infrastructure Management Systems”, Moscow

Abstract: The article is dedicated to the research and improvement of the design of a compact universal point motor (EMSU) and the fundamental control block scheme of the electric motor. The universal voltage and rotor rotation frequency motor EMSU has been developed as a replacement for commonly used direct current and alternating current motors, such as MSP, DPS, MST, and MSA types. The universality of EMSU leads to its widespread implementation in the railway networks of the Russian Federation. The lack of publicly available information on the construction features of the electric motor and the fundamental control block scheme has led to the necessity of conducting an independent analysis of its design. In the process of work, the EMSU has been disassembled, followed by an analysis of its mechanical and electrical components. Assembly and analysis of statistical information on its various types of failures have been performed, and suggestions for improving the design of the electric motor have been developed.

Keywords: electric motor; microprocessor control system; rectifier; stand-alone voltage inverter; electronic switch.

References

1. Abdeljawed H. B., Amraoui L. E. Simulation and rapid control prototyping of DC powered universal motors speed control: Towards an efficient operation in future DC homes. *Engineering Science and Technology*, 2022, pp. 2–7.
2. Syrigos S. P., Tatakis E. C. An alternative universal motor drive with unity power factor operating in DC and AC modes. XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM). Lausanne, 2016, pp. 962–968.
3. Stal'naya M. I., Eremochkin S. Yu. To the question of development of the universal model of a three-phase electric motor with the use of computer simulation tools. Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) — proceedings APEIE-2018: 14th international scientific-technical conference. Novosibirsk: NSTU Publ., 2018. Pp. 439–444. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545924.
4. Lee T.-W. et al. Control of c-dump converters fed switched reluctance motor on an automotive application. *Electric Power Systems Research*, 2007, vol. 77, Iss. 7, pp. 804–812.
5. Nakamura K., Kimura K., Ichinokura O. Electromagnetic and motion-coupled analysis for switched reluctance motor — based on reluctance network analysis. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2005, vol. 290–291, part 2, pp. 1309–1312.
6. Ganeev E. A., Graifer A. Yu. Universal'nyy strochnyy elektrodvigatel' [Universal switch motor]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics]. 2013, Iss. 1, pp. 16–17. (In Russian)
7. Kondratyuk T. V., Kopanев M. V., Monid O. I. O vnedrenii novykh elektrodvigateley dlya strochnykh gorochnykh privodov [On the introduction of new electric motors for switch hump drives]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young Science of Siberia]. 2021, Iss. 1(11), pp. 277–282. (In Russian)
8. Yanin, A. O., Trofimchuk D. V., Epifanova E. P. Perspektiva zameny strochnykh elektrodvigateley na zheleznoy doroge [Prospects for replacing switch electric motors on the railway]. *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke* [Scientific, technical and economic cooperation of Asia-Pacific countries in the 21st century]. 2022, vol. 1, pp. 163–168. (In Russian)
9. *Elektrodvigatel' malogabaritnyy strochnyy universal'nyy EMSU-SP i ego modifikatsii. Rukovodstvo po ekspluatatsii 22381-00-00 RE* [Small-sized universal pointer electric motor EMSU-SP and its modifications. Operating manual 22381-00-00 RE]. 000 ETZ “GEKSAR” Publ., 2022, 34 p. (In Russian)

10. Pulyakov A. V., Dunaev M. P., Arsenyev G. O. Universal control method of auxiliary electric motors. Proceedings of the International Conference "Aviamechanical engineering and transport" (AVENT 2018). Irkutsk: Atlantis Press Publ., 2018, pp. 109–113. DOI: 10.2991/avent-18.2018.21.
11. Kopanov M. V., Arsen'ev M. O. Upravlenie nadezhnost'yu asinkhronnykh dvigateley putem vvedeniya kontrolya ikh parametrov [Managing the reliability of asynchronous motors by introducing control of their parameters]. *Povyshenie effektivnosti proizvodstva i ispol'zovaniya energii v usloviyakh Sibiri* [Improving the efficiency of production and use of energy in Siberia]. Irkutsk: IrNITU Publ., 2016, pp. 36–39. (In Russian)
12. Bondarchuk A. P. Sistema upravleniya privodom na osnove beskollektornogo elektrodvigatelya postoyannogo toka [Drive control system based on a brushless DC electric motor]. *Molodezhnaya shkola-seminar po problemam upravleniya v tekhnicheskikh sistemakh imeni A. A. Vavilova* [Youth school-seminar on control problems in technical systems named after A. A. Vavilov]. 2021, vol. 1, pp. 30–33. (In Russian)
13. Kopanov M. V., Kuchera L. Ya. Vyyavlenie prichin otkazov strelochnykh elektroprivodov s ispol'zovaniem ekspertnoy sistemy [Identification of the causes of failures of switch electric drives using an expert system]. *Transsib: na ostrie reform* [Transsib: at the forefront of reform]. 2016, pp. 230–234. (In Russian)
14. Burkov A. T. *Elektronika i preobrazovatel'naya tekhnika* [Electronics and converter technology]. Moscow: UMTs po obr. na ZhDT Publ., 2015, 308 p. (In Russian)
15. Kulinich Yu. M. *Elektronnaya preobrazovatel'naya tekhnika* [Electronic converter technology]. Moscow: UMTs po obr. na ZhDT Publ., 2015, 204 p. (In Russian)
16. Babakin V. I., Kabargina O. V. *Silovaya preobrazovatel'naya tekhnika v elektroprivodakh* [Power converter technology in electric drives]. Ufa: UGNTU Publ., 2010, 52 p. (In Russian)
17. Mufazdalov I. R. Silovye elektronnye preobrazovateli i ikh elementy [Power electronic converters and their elements]. *Novye tekhnologii, materialy i oborudovanie rossiyskoy aviakosmicheskoy otrasli* [New technologies, materials and equipment of the Russian aerospace industry]. Kazan': KGTU im. A. N. Tupoleva Publ., 2018, pp. 226–229. (In Russian)
18. Kopanov M. V., Alekseenko V. A., Kuzin M. V. *Modelirovanie rezhimov raboty dvigatelya EMSU v srede MATLAB. Tsifrovyye infokommunikatsionnye tekhnologii: sb. nauch. tr.* [Modeling the operating modes of the EMSU engine in the MATLAB environment. Digital infocommunication technologies: collection of scientific tr.]. Rostov-on-Don: RGUPS Publ., 2021, pp. 157–161. (In Russian)
19. Belyaev V. P. Modelirovanie asinkhronnogo elektroprivoda s ShIM-upravleniem i uprugimi svyaziyami [Modeling of an asynchronous electric drive with PWM control and elastic connections]. *Energiya i menedzhment* [Energy and management]. 2014, pp. 1(76), pp. 30–33. (In Russian)
20. Fedorov S. V. Razrabotka imitatsionnoy modeli trekhkanal'nogo ShIM-kontrollera v Multisim [Development of a simulation model of a three-channel PWM controller in Multisim]. *Shag v nauku* [Step into science]. 2022, Iss. 2, pp. 16–22. (In Russian)
21. Yurchenko O. N., Gutsalyuk V. Ya., Gerasimenko P. Yu. et al. Matematicheskaya model' rezonansnogo tranzistoronogo invertora napryazheniya s nizkochastotnoy impul'snoy modulyatsiyey [Mathematical model of a resonant transistor voltage inverter with low-frequency pulse modulation]. *Tekhnicheskaya elektrodinamika* [Technical electrodynamics]. 2011, Iss. 1, pp. 24–30. (In Russian)
22. Kolesnikova T. Multisim 14.0 — novyye vozmozhnosti i ikh prakticheskoe primeneniye [Multisim 14.0 — new opportunities and their practical application]. *Komponenty i tekhnologii* [Components and technologies]. 2016, Iss. 2(175), pp. 98–108. (In Russian)