

ЭЛЕКТРОПРИВОД С ОБЩИМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ И ИНДИВИДУАЛЬНЫМИ ИНВЕРТОРАМИ ДЛЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ЛИНИИ АМУРСКОГО ЛЕСОКОМБИНАТА

В статье рассматривается система электропитания электропривода деревообрабатывающей линии. Особенностью электропривода является способ подключения автономных инверторов к источнику постоянного тока через общее звено постоянного напряжения. Результатом от применения системы электропитания является экономия электроэнергии за счет исключения из схемы тормозных резисторов и нормализация теплового режима в электронной системе управления. Приведены результаты исследования физических процессов, полученные в процессе имитационного моделирования модели электропривода.

Ключевые слова: преобразователи частоты, общий выпрямитель, индивидуальные автономные инверторы для асинхронных электродвигателей, двигательные режимы и режимы генераторного торможения, общее звено постоянного напряжения.

Введение. В настоящее время частотно-регулируемый электропривод стремительно внедряется во все отрасли промышленности, аграрный комплекс, на электрифицированном транспорте. Различают две модификации преобразователя частоты [1–3] со звеном постоянного напряжения:

1. На основе диодного выпрямителя, С-фильтра, инвертора напряжения с ШИМ и блока динамического торможения с тормозными резисторами.

2. На основе транзисторного выпрямителя с двухсторонним обменом энергии, LC-фильтром, инвертором напряжения и блоком регулирования с обеспечением интенсивного торможения и рекуперации энергии в сеть.

Недостатком первой модификации является потеря электрической энергии при торможении. Во второй модификации исключена потеря электроэнергии за счёт усложнения схемы преобразователя частоты, имеющего по два комплекта систем управления и силовых частей. Недостатком второй модификации является сложность системы управления и высокая стоимость преобразователя частоты. Устранить перечисленные недостатки удалось за счёт изменения схемы электропитания автономных инверторов.

Отличительной особенностью рассматриваемой схемы электропитания является использование общего звена постоянного напряжения к которому подключены все автономные инверторы, входящие в состав электропривода автоматизированной де-

ревообрабатывающей линии, получающие электропитание от общего источника постоянного тока. В процессе работы электропривода через общее звено постоянного напряжения происходит взаимный энергообмен между асинхронными электродвигателями, переведёнными в режим торможения и вырабатывающими электрическую энергию и находящимися в двигательном режиме, подключенными к выходам автономных инверторов.

В преобразователях частоты в процессе динамического торможения электродвигатель вырабатывает электроэнергию, которая рассеивается в окружающей среде на специальных тормозных резисторах. При генераторном торможении, в отличие от динамического, энергия возвращается в питающую сеть через управляемый обратимый выпрямитель. Проведённые исследования имитационной модели в пакете MATLAB показали, что в схеме с общим звеном постоянного напряжения одновременно происходят физические процессы, характерные как для динамического, так и для генераторного торможения [4–6].

Целью данной публикации является описание комплекса электропривода с общим звеном постоянного напряжения и исследование физических процессов, происходящих в имитационной модели электропривода.

Электропривод автоматизированной линии. В Центре по глубокой переработке древесины, расположенном в г. Амурске Хабаровского края,

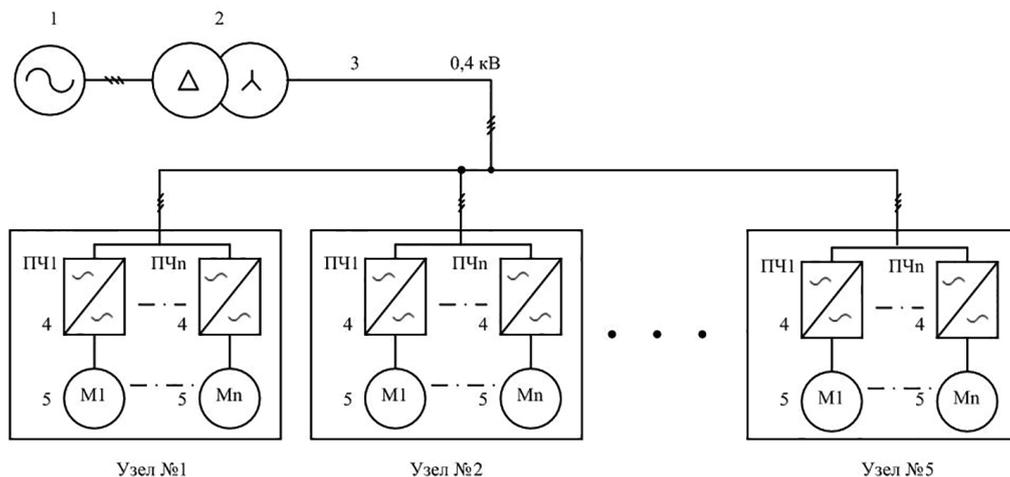


Рис. 1. Исходная структурная схема электропривода с электропитанием преобразователей частоты от сети переменного тока

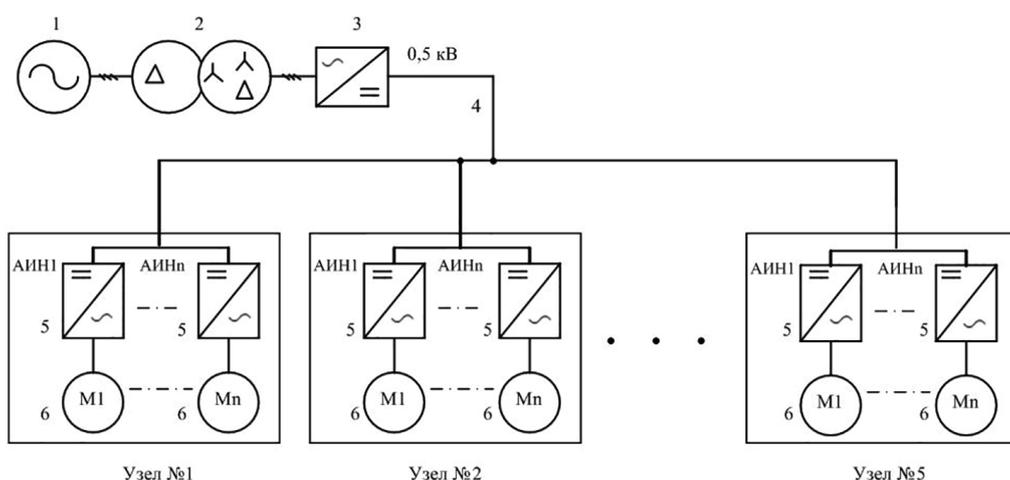


Рис. 2. Структурная схема электропривода с общим звеном постоянного напряжения

эксплуатируются автоматизированные деревообрабатывающие линии по производству шпона. Деревообрабатывающие линии являются сложными автоматизированными устройствами, имеющими электродвигатели различной мощности и частотные преобразователи со специальным точным управлением, входящие в состав электропривода. Комплекс электроприводов деревообрабатывающей линии по производству шпона рассмотрен в работе [7].

На рис. 1 представлена исходная структурная схема электропривода деревообрабатывающей линии с электропитанием преобразователей частоты от сети переменного тока [7]. В состав электропривода автоматизированной линии входят пять узлов, в каждом из которых установлены преобразователи частоты 4, к выходам которых подключены асинхронные электродвигатели 5. Все преобразователи частоты получают электропитание от трёхфазной внутриводской сети переменного тока 3 с рабочим напряжением 0,4 кВ. Внутриводская сеть 3 подключена через понижающий трансформатор 2 к источнику электроснабжения 1. Всего электропривод линии по производству шпона содержит 36 асинхронных электродвигателей мощностью от 0,75 кВт до 28 кВт и такое же количество преобразователей частоты с промежуточным звеном постоянного напряжения. Мощность электропривода составляет 600 кВт.

В состав каждого преобразователя частоты 4 входят: трёхфазный диодный выпрямитель с входным L-фильтром, автономный инвертор напряжения, к входам которого подключен электролитический конденсатор С-фильтра, который одновременно является накопителем энергии, вырабатываемой асинхронным электродвигателем в режиме генераторного торможения. Кроме этого, у большей части преобразователей частоты имеется блок торможения, состоящий из тормозного резистора с транзистором, регулирующим интенсивность торможения с одновременным гашением избыточной энергии, накопленной в конденсаторе С-фильтра.

В процессе эксплуатации автоматизированной линии были выявлены следующие недостатки: нерациональное потребление электроэнергии, частое срабатывания защиты от максимального напряжения в процессе работы электропривода вследствие превышения напряжения на конденсаторах С-фильтров частотных преобразователей в момент перевода электродвигателей в режим динамического торможения, приводивших к остановке линии и незавершённому технологическому процессу. Перебои в работе линии снижали её производительность, приводили к браку продукции. Наличие в схеме электропривода тормозных резисторов с тормозными транзисторами приводило к потерям электроэнергии, а их нагрев в процессе работы —

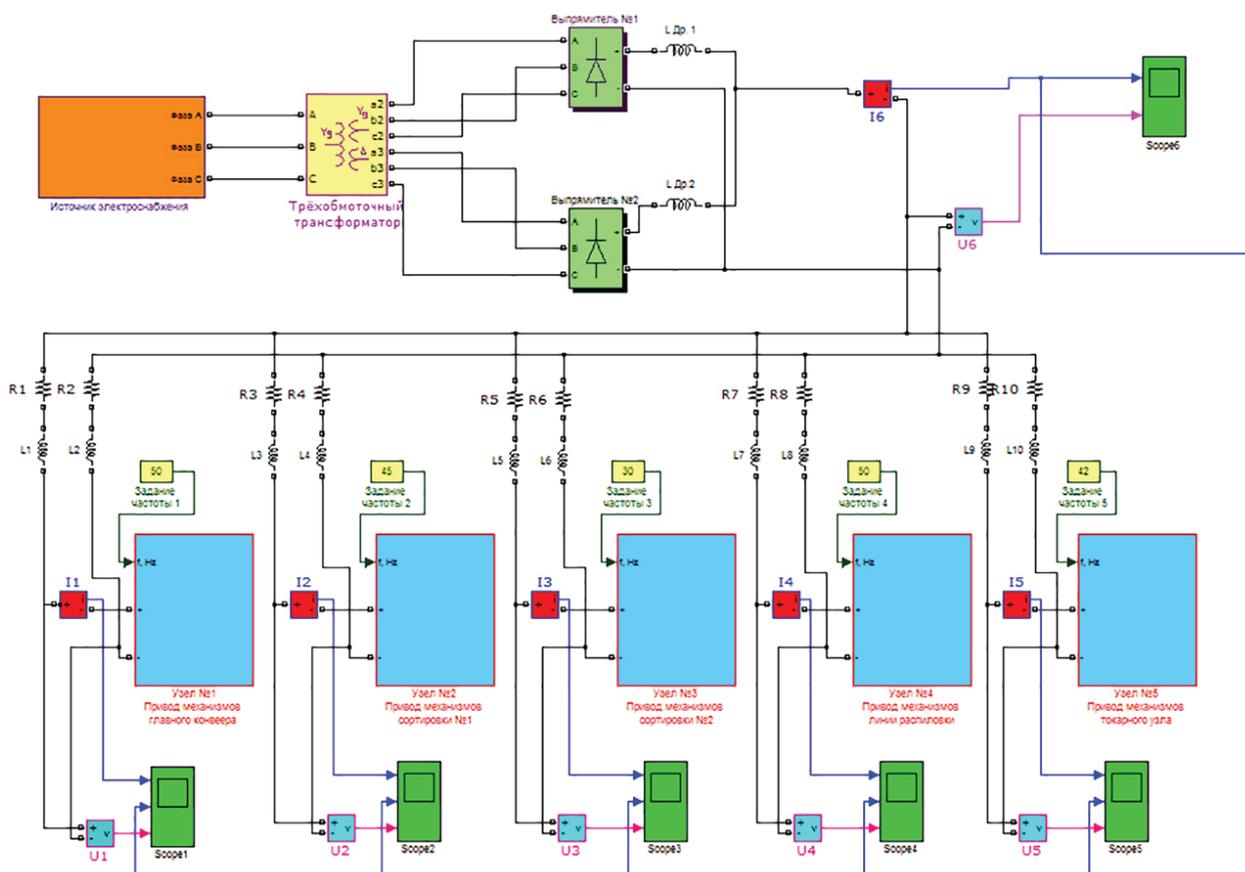


Рис. 3. Имитационная модель электропривода с общим звеном постоянного напряжения

к нарушению температурного режима электронной части электропривода.

Для повышения надёжности электропривода и улучшения технико-экономических показателей была применена схема электропитания, в которой все автономные инверторы автоматизированной линии подключены через общее звено постоянного напряжения к источнику постоянного напряжения. В схеме электропитания (рис. 2) входы всех автономных инверторов напряжения 5 подключены к общему звену постоянного напряжения 4, получающего электропитание от общего выпрямительного агрегата 3. Выпрямительный агрегат подключен к источнику электроснабжения 1 через понижающий трансформатор 2 [7].

Применение схемы электропитания автономных инверторов напряжения от общего выпрямителя позволило демпфировать переходные процессы и стабилизировать напряжение в звене постоянного напряжения 4 до значения, при котором не происходит срабатывание электронных и электрических защит электрооборудования.

В процессе дальнейшей эксплуатации деревообрабатывающей линии с изменённой схемой электропитания снизилось потребление электроэнергии на 10 %, уменьшилось количество технических остановок из-за влияния переходных процессов в звене постоянного напряжения на систему защиты автономных инверторов, исключены из схемы штатные тормозные резисторы и транзисторы. Исключение из схемы тормозных резисторов позволило нормализовать температурный режим силового электронного оборудования без установки дополнительных средств охлаждения в узлах управления.

На рассмотренное техническое решение получен патент на полезную модель: заявка № 2017130399/13

(052972) РФ, МПК В 27 L 5/02 «Электропривод деревообрабатывающей линии по производству шпона» / Климах В. С., Петухов А. В. Решение ФИПС о выдаче патента от 26.03.2018. Схема электропитания автономных инверторов напряжения от общего источника постоянного тока внедрена в эксплуатацию на промышленном предприятии ООО «Амурский центр по глубокой переработке древесины» в г. Амурске Хабаровского края и успешно работает с декабря 2016 года по настоящее время.

Ввиду сложности аналитических расчётов исследование физических процессов, происходящих в системе электропитания электропривода деревообрабатывающей линии, реализованного по схеме с общим звеном постоянного напряжения, проводилось в программном пакете MATLAB. Для получения результатов расчёта была составлена имитационная модель электропривода деревообрабатывающей линии (рис. 3).

Имитационная модель электропривода деревообрабатывающей линии содержит пять блоков, в каждом из которых расположены автономные инверторы напряжения. Параллельно входам каждого из автономных инверторов АИН, имеющих систему управления СУ, расположенных внутри блока (рис. 4), подключены конденсаторы С-фильтра, а к выходам — асинхронные электродвигатели с элементом, имитирующим механическую нагрузку. Промежуточная сеть постоянного напряжения, соединяющая блоки между собой и общим выпрямителем, получает электропитание через понижающий трансформатор от блока, имитирующего работу источника электроснабжения.

Имитация режимов генераторного торможения асинхронных электродвигателей осуществляется за счёт изменения значения механической на-

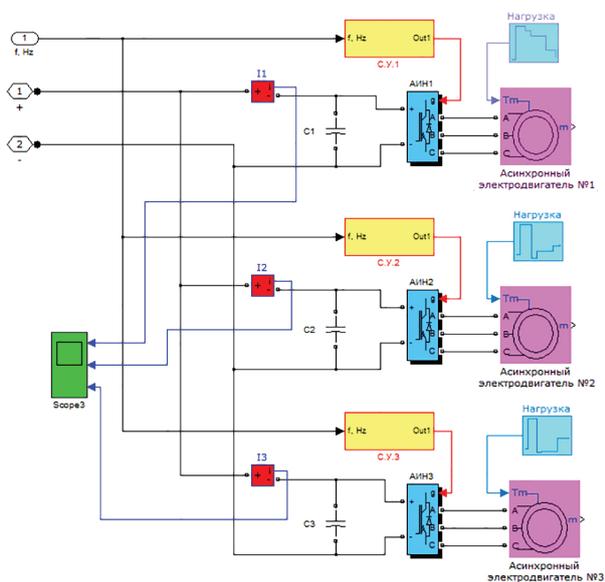


Рис. 4. Имитационная модель узла № 5, привод токарного узла

грузки, приложенной к валам асинхронных двигателей в заданном интервале времени при помощи таймеров. Параметры всех элементов имитационной модели соответствуют паспортным данным устройств, входящих в состав автоматизированной

линии. Количество и мощность асинхронных электродвигателей и автономных инверторов в блоках имитационной модели соответствуют установленным в автоматизированной деревообрабатывающей линии. В модель электропривода деревообрабатывающей линии (рис. 3) введены рассчитанные по методике, приведённой в [8], значения индуктивности L и сопротивления R элементов, образующих промежуточное звено постоянного напряжения, соединяющих между собой автономные инверторы и общий источник постоянного тока. Расчёт ёмкостей конденсаторов C -фильтров (рис. 4), включённых на входе автономных инверторов, выполнялся по методике, приведённой в [9]. Расчёт индуктивностей L_{Ap1} и L_{Ap2} сглаживающего фильтра, установленного на выходе общего выпрямителя (рис. 3), производился в соответствии с рекомендациями, приведёнными в [10].

Исследование физических процессов, протекающих в звене постоянного напряжения, проводилось в программном пакете MATLAB. Применение программного пакета для имитационного моделирования в процессе исследования позволило снизить трудоёмкость и время проведения расчетов, а также одновременно увеличить количество исследуемых режимов и вариантов схемного исполнения электропривода с общим звеном постоянного напряжения с учетом параметров источника электропитания и режимов генераторного торможения асинхронных электродвигателей. Основной целью

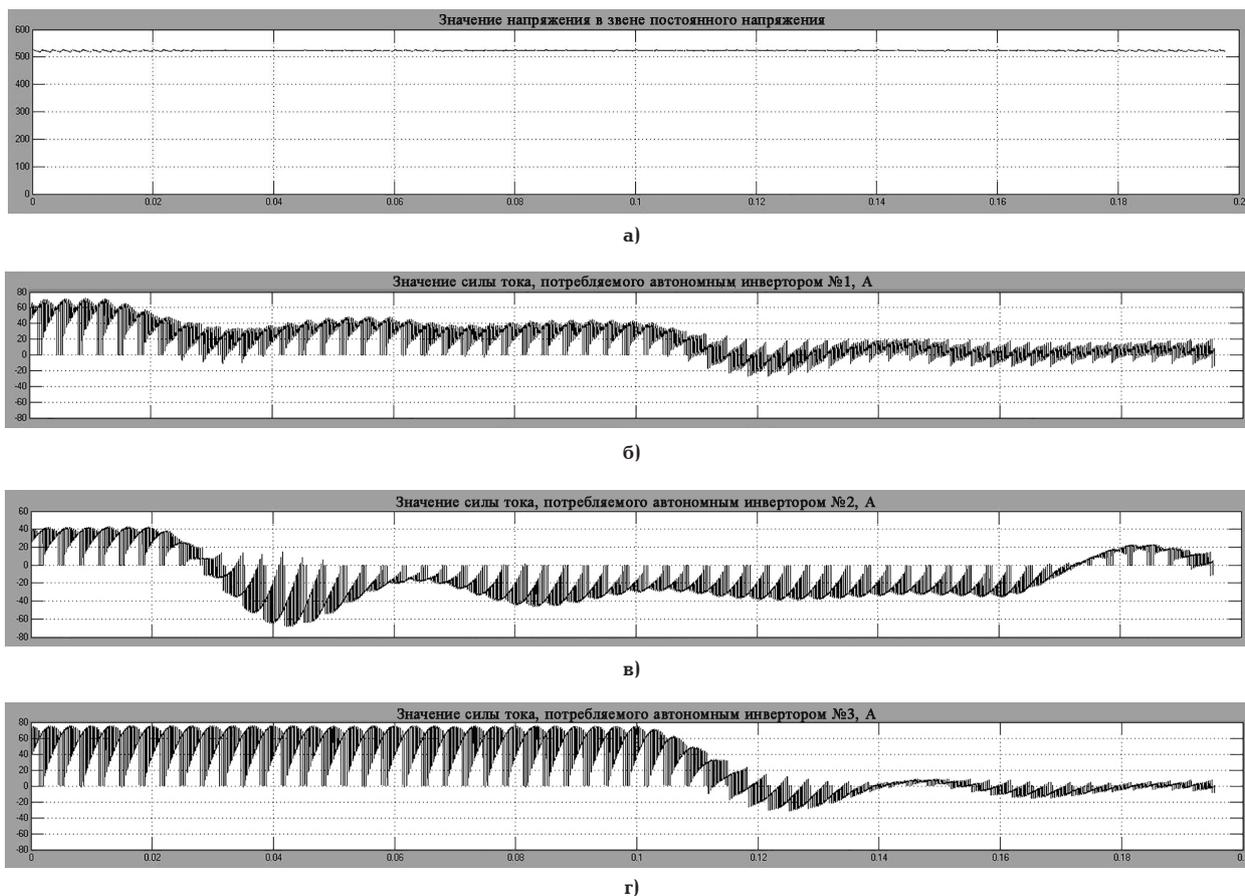


Рис. 5. Экспериментальные осциллограммы, полученные в процессе исследования:
 а — осциллограмма напряжения в общем звене постоянного напряжения;
 б — осциллограмма тока, потребляемого автономным инвертором № 1;
 в — осциллограмма тока, потребляемого автономным инвертором № 2;
 г — осциллограмма тока, потребляемого автономным инвертором № 3

исследования являлся анализ изменения значения напряжения в общем звене постоянного напряжения в процессе энергообмена между асинхронными электродвигателями, переходящими из режима генераторного торможения в режим потребления электроэнергии. Для этого в имитационной модели электропривода с общим звеном постоянного напряжения (рис. 3) часть электродвигателей, входящих в каждый блок, переводилась в режим генераторного торможения, в то время как остальные асинхронные электродвигатели находились в режиме энергопотребления. Исследование проводилось в диапазоне механических нагрузок от 0 до 45 Н/М в различных режимах работы электропривода.

На рис. 5 представлен один из результатов расчёта, выполненных в программном пакете MATLAB, в виде осциллограмм значения силы тока, потребляемого автономными инверторами напряжения (осциллограммы на рис. 5б, в, г), и напряжения (осциллограмма на рис. 5а) в общем звене постоянного напряжения, полученные в процессе проведения исследования.

В результате исследования было установлено, что перевод части электродвигателей в режим генераторного торможения не приводит к существенному увеличению напряжения в звене постоянного напряжения (осциллограмма на рис. 5а). Измерение значения напряжения в общем звене постоянного напряжения проводилось как на выходе общего источника тока, так и на входах автономных инверторов. В момент перевода асинхронных электродвигателей в режим генераторного торможения, полностью прекращалось потребление электроэнергии от общего источника постоянного тока, при этом напряжение в звене постоянного напряжения (осциллограмма на рис. 5а) не изменялось вследствие возникновения энергообмена через общее звено постоянного напряжения между узлами (рис. 3) и автономными инверторами в составе токарного узла (рис. 4) (осциллограммы на рис. 5б, в, г). В процессе исследования было установлено, что ток, протекающий между автономными инверторами (рис. 4), изменяет своё направление как в режиме генераторного торможения, так и в установленном режиме, при этом среднее значение напряжения в звене постоянного напряжения не изменяется.

Установлено, что в системе электропитания автономных инверторов от общего источника постоянного тока изменяется характер электромагнитных процессов, поскольку индуктивность проводников, образующих общее звено постоянного напряжения, имеет значительную величину и выполняет роль сглаживающего реактора в цепи постоянного тока.

Полученные в процессе исследования модели электропривода результаты показали, что применение рассмотренной системы электропитания позволяет исключить из схемы тормозные резисторы, так как электродвигатели, находящиеся в двигательном режиме, потребляют энергию, вырабатываемую электродвигателями в режиме динамического торможения, а в звене постоянного напряжения при этом не происходит повышения напряжения выше допустимого уровня. Эксплуатация рассмотренной системы электропитания электропривода на промышленном предприятии подтвердила её работоспособность и надёжность.

Библиографический список

1. Белов М. П., Новиков В. А., Рассуцов Л. Н., Сумников А. А. Автоматизированный электропривод — современная основа автоматизации технологических процессов // Электротехника. 2003. № 5. С. 12–16.
2. Зиновьев Г. С. Основы силовой электроники. Изд. 2-е, испр. и доп. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. 664 С. ISBN 5-7782-0323-3.
3. Ефимов А. А., Шрейнер Р. Т. Активные преобразователи в регулируемых приводах переменного тока: моногр. Новоуральск: Изд-во НГТИ, 2001. 250 с.
4. Воробьев А. А., Колб А. А. Групповое питание электропривода с общим накопителем энергии как новое направление энергосбережения // Вестник национального технического ун-та «ХПИ». Темат. вып. «Проблемы автоматизированного электропривода». Харьков: Изд-во НТУ «ХПИ», 2003. Вып. 10. С. 224–228.
5. Беляев В. Л. Повышение энергетической эффективности в морском торговом порту «Южный» // Эффективність та якість електропостачання промислових підприємств: зб. праць VI Міжнародної науково-технічної конф. Маріуполь: Вид-во ПДТУ, 2008. С. 168–171.
6. Кириленко А. В., Волков И. В. Энергосберегающий асинхронный электропривод // Вестник национального технического ун-та «ХПИ». Темат. вып. «Проблемы автоматизированного электропривода». Харьков: Изд-во НТУ «ХПИ». 2008. Вып. 30. С. 22–27.
7. Климаш В. С., Петухов А. В. Опыт эксплуатации комплекса электроприводов автоматизированных линий по производству шпона // Материалы 47-й науч.-техн. конф., Комсомольск-на-Амуре, 10–21 апреля 2017 г. / редкол. Э. А. Дмитриева (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре: Изд-во КнАГТУ, 2017. С. 858–860.
8. Немыкина О. В. Исследование процессов в сети, питающей группу частотно-регулируемых приводов для крановых установок // Электротехнические и компьютерные системы. 2011. № 3 (79). С. 355–356.
9. Микитченко А. Я., Могучев М. В., Шевченко А. Н. Выбор емкости конденсатора в звене постоянного напряжения двухзвенного преобразователя частоты // Электроприводы переменного тока: тр. междунар. XIV науч.-техн. конф. Екатеринбург: Изд-во УрГТУ, 2007. С. 39–42.
10. Лукевски М., Осетер А., Хебровски А. [и др.]. Повышение энергосбережения электроприводов переменного тока с преобразователями частоты за счет использования дросселей фирмы Elhand Transformatory // Вестник национального технического ун-та «ХПИ». Темат. вып. «Проблемы автоматизированного электропривода». Харьков: Изд-во НТУ «ХПИ». 2008. Вып. 30. С. 489–492.

КЛИМАШ Владимир Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленная электроника».

ПЕТУХОВ Александр Владимирович, магистрант гр. 6ПЭМ-1 электротехнического факультета.

Адрес для переписки: Petuhovaleasandr@yandex.ru

Для цитирования

Климаш В. С., Петухов А. В. Электропривод с общим выпрямителем и индивидуальными инверторами для асинхронных электродвигателей деревообрабатывающей линии Амурского лесокombината // Омский научный вестник. 2018. № 3 (159). С. 22–26. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-159-22-26.

Статья поступила в редакцию 14.04.2018 г.

© В. С. Климаш, А. В. Петухов