Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

ВК «Кузбасская ярмарка»

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 10 - 2024

УДК 622.2 ISSN 2311-8342

ББК 33.1
Н 340

Главный редактор
д.т.н., проф. Фрянов В.Н.

Редакционная коллегия:
чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Клишин В.И., д.т.н., проф. Никитенко С.М.,
д.т.н. Павлова Л.Д. (технический редактор), д.т.н., проф. Домрачев А.Н.,
д.э.н., проф. Петрова Т.В.

Н 340 Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2024. - № 9. – 350 с.

Рассмотрены аспекты развития инновационных наукоёмких технологий диверсификации угольного производства и обобщены результаты научных исследований, в том числе создание роботизированных и автоматизированных угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий, базирующиеся на использовании прорывных технологий добычи угля и метана, комплексной переработке этих продуктов в угледобывающих регионах и реализации энергетической продукции потребителям в виде тепловой и электрической энергии.

Журнал предназначен для научных и научно-технических работников, специалистов угольной промышленности, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

Номер подготовлен на основе материалов Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов», проводимой в рамках специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» (Новокузнецк, 4-7 июня 2024 г.).

Основан в 2015 г.
Выходит 1 раз в год

Учредитель - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

УДК 622.2
ББК 33.1

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2024

АВТОНОМНАЯ И ДИСТАНЦИОННО-УПРАВЛЯЕМАЯ ТЕХНИКА НА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ.....188
[1]д.э.н. Никитенко С.М., [1]к.т.н. Никитенко М.С., [1]Худоногов Д.Ю., [1]Кизилов С.А., [2]PhD Вайс И..188
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия.....188
2 – EEP Elektro-Elektronik Pranjic GmbH, Гельзенкирхен, Германия.....188
СПОСОБ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ С ИХ ФИЗИЧЕСКИМИ МАКЕТАМИ.....193
[1]Кизилов С.А., [1]к.т.н. Никитенко М.С., [1]Худоногов Д.Ю., [2]Neogi B., [1]Верховцев Д.О.....193
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия.....193
2 – Инженерный колледж JIS, Кальяни, Западная Бенгалия, Индия.....193
A COMPREHENSIVE REVIEW ON ADVANCING COAL MINING THROUGH INDUSTRY 4.0 AND INDO-RUSSIA COLLABORATION.....198
Shaw H. K., Rajak A., Chanda A., Pal M., Neogi B.....198
JIS College of Engineering, Kalyani, West Bengal, India.....198
ДИСКРЕТНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ ПО ПЕРЕСЫПНОМУ УЗЛУ СТАКЕРА-РЕКЛАЙМЕРА.....203
к.т.н. Клишин С.В., Морев А.Э., Тимофеев Т.Т.....203
АО «Моделирование и цифровые двойники», г. Москва, Россия.....203
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА T-ENERGY.....209
к.т.н. Сеченов П.А., д.т.н. Рыбенко И.А.....209
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....209
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ И РАБОТЫ КОНВЕРТЕРОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....213
Прохоров И. М., к.т.н. Турчанинов Е. Б., к.т.н. Шакиров М. К., д.т.н. Зимин А.В.....213
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....213
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЯГОВЫХ НАГРУЗОК НА КАЧЕСТВО ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НЕТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В РАЙОНАХ УГЛЕДОБЫЧИ.....217
[1]Стишенко К.П., [2]Герасимук А.В., [1]к.ф-м.н. Хаимзон Б.Б., [1]к.т.н. Кипервассер М.В.....217
1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....217
2 – АО «Сибирский Тяжпромэлектропроект», г. Новокузнецк, Россия.....217
ХАРАКТЕРИСТИКИ СХЕМ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ МЕХАНИЗМОВ В ГОРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....222
Александров Н.А., Жданов Е.В., к.т.н. Кипервассер М.В.....222
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....222
ПРИМЕНЕНИЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК.....226
к.т.н. Поползин И.Ю.....226
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....226
ВЛИЯНИЕ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....230
Жданов Е.В., Александров Н.А., к.т.н. Кубарев В.А.....230
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....230
МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ.....233
Петрущенко А.Ю.....233
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....233
РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ.....238
к.т.н. Кузнецова Е.С., Богдановская Т.В., Игнатенко О.А.....238
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....238
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА МОЩНЫХ ИМПУЛЬСА НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА.....243
Кузнецова Е.С., Арбузов И.С.....243
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....243

УДК 621.313.333.2

ХАРАКТЕРИСТИКИ СХЕМ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ МЕХАНИЗМОВ В ГОРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Александров Н.А., Жданов Е.В., к.т.н. Кипервассер М.В.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В работе описываются системы управления скоростью и соотношением моментов для многодвигательных электроприводов, которые работают на общую нагрузку. В этих системах осуществляется равномерное распределение нагрузки между взаимосвязанными электроприводами.

Ключевые слова: многодвигательный электропривод, регулятор скорости, блок управления моментом, коэффициент соотношения моментов, регулятор скорости, передаточный механизм, исполнительный орган.

Для увеличения мощности и момента на валу механизмов, используемых при добыче и переработке полезных ископаемых, используются электроприводы большой мощности, в частности – многодвигательный электропривод. Также системы многодвигательных электроприводов используются в коксохимическом производстве металлургических предприятий при транспортировке угля и кокса.

Для электроприводов с несколькими двигателями возникает задача равномерного распределения нагрузки между ними, а также согласование работы электроприводов при работе на общую нагрузку. Например, две пары двигателей соединены с двумя редукторами, вращающими барабан подъемника установки сухого тушения кокса (УСТК) коксового цеха (рис. 1). В таких системах приводы могут создавать различные моменты в зависимости от индивидуальных характеристик электродвигателей и состояния механической части подъемного устройства [1].

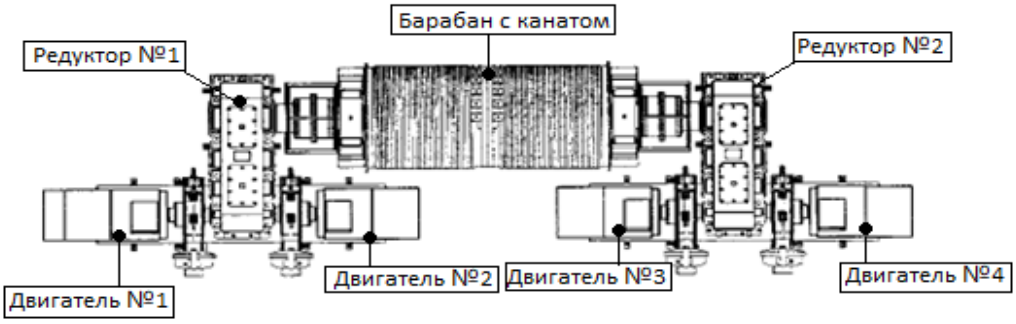


Рис. 1. Функциональная схема подъемника УСТК

Увеличение числа двигателей в электроприводах производственных механизмов большой мощности и с высокими моментами инерции приносит определённые преимущества по сравнению с однодвигательным электроприводом [1, 2]. Многодвигательный электропривод имеет следующие положительные качества в сравнении с однодвигательным электроприводом:

– увеличение надежности и эффективности работы электропривода при низких нагрузках;

– уменьшение мощности, крутящего момента и габаритов отдельного электродвигателя;

– снижение общей массы исполнительной части (включая электродвигатель и передаточный механизм);

– уменьшения динамических нагрузок на механические системы;

Также у электропривода с несколькими двигателями есть свои недостатки:

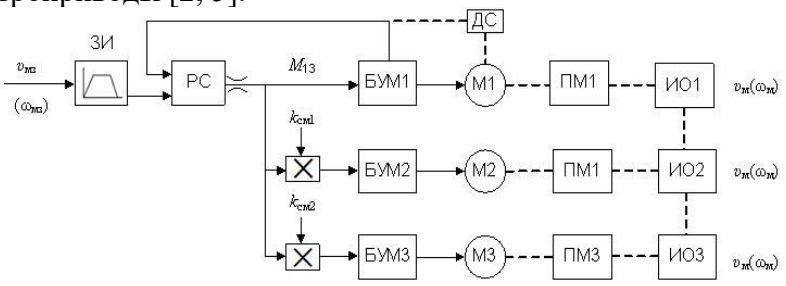
– усложнение электрической схемы подключения электродвигателей к электросети при их последовательном и параллельном соединении;

– неодинаковость характеристик двигателей одной модели;

– неравномерное распределение нагрузки между несколькими двигателями, работающими на общий вал [3, 4].

Последний недостаток является существенным. Для равномерного распределения нагрузки между электродвигателями в многодвигательном электроприводе применяются различные варианты принципов построения и компоновки схем управления. На рис. 2 - 4 показаны структурные схемы систем управления тремя электроприводами, основанные на разных принципах.

На рис. 2 представлена система, где первый привод выступает в качестве ведущего, осуществляя управление скоростью с применением блока управления моментом (БУМ) и регулятора скорости (РС), имеющего ограничение на выходной сигнал. Согласно с заданными значениями величин $\upsilon_{м3}$ или $\omega_{м3}$, данный электропривод обеспечивает скорость $\upsilon_м$ или $\omega_м$ движения исполнительного органа (ИО). В то время как ведомые электроприводы с ИО2 и ИО3, двигаясь с аналогичной скоростью, управляются исключительно по заданным значениям моментов M_{23} и M_{33}. Эти значения устанавливаются при помощи устройств задания моментов, аналогично принципу независимого управления скоростями в многодвигательных электроприводах. Регулируя конкретные коэффициенты соотношения моментов $k_{смj}$, достигается соответствующая нагрузка на электроприводы [2, 5].



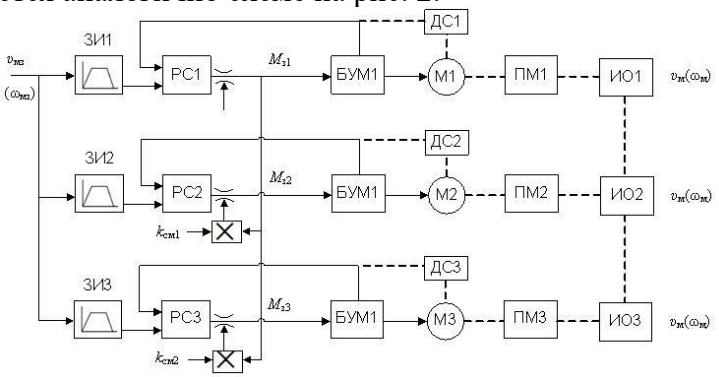
РС – регулятор скорости; БУМ1 – блок управления моментов; М1 – мотор; ДС – датчик скорости; ПМ1 – передаточный механизм; ИО1 – исполнительный орган

Рис. 2. Структурная схема многодвигательного электропривода по системе ведущий / ведомый

Каждый электропривод развивает критический момент, учитывая коэффициент $k_{смj}$, однако происходит остановка механизмов. При использовании в многодвигательном электроприводе схемы типа "ведущий/ведомый" нагрузка равномерно распределяется по всему диапазону скоростей после передачи команды на моменты от регулятора скорости ведущего привода к регуляторам моментов ведомых приводов, обеспечивая равномерное функционирование системы. В случае широкого диапазона регулирования скорости производственного механизма ведущий привод должен быть оборудован датчиками скорости (ДС). При ограниченных возможностях диапазона использования обратной связи по оценке скорости двигателя может быть выполнена в блоке управления моментом (БУМ1). Варианты такой оценки рассматриваются в [2, 5].

Недостатком обсуждаемого варианта электропривода является неконтролируемый разгон ведомых электроприводов при разрыве механической связи с исполнительным органом (ИО1). Этот недостаток устраняется в системах, представленных на рис. 3 и 4. В варианте на рис. 3 все три привода структурно и функционально идентичны, как в случае ведущего привода с регуляторами скорости. Время разгона и торможения задаются одинаково для каждого электропривода с использованием функционального модуля

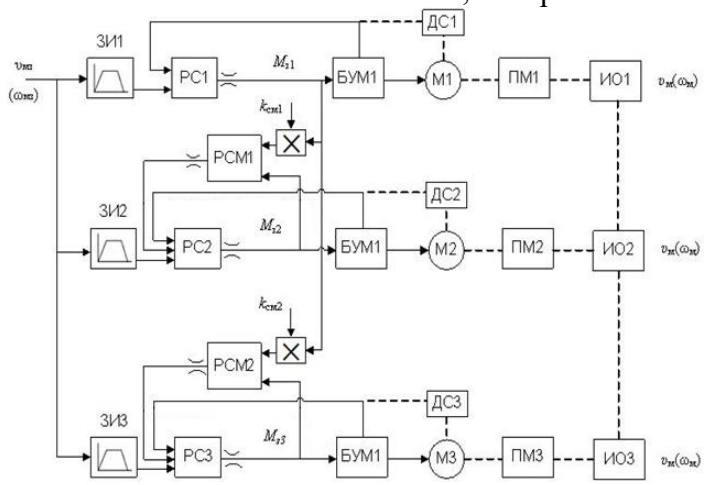
«задатчик интенсивности». Регулирование соотношениями моментов происходит путем управления ограничениями момента, устанавливаемого ведущим приводом. Ограничение моментов выполняется аналогично схеме на рис. 2.



ЗИ – задатчик интенсивности; РС – регулятор скорости; БУМ1 – блок управления моментов; М1 – мотор; ДС – датчик скорости; ПМ1 – передаточный механизм; ИО1 – исполнительный орган

Рис. 3. Структурная схема многодвигательного электропривода с независимыми задатчиками интенсивности

Более широкие возможности по выравниванию нагрузки и управлению соотношениями моментов обеспечиваются в системе, изображенной на рис. 4.



ЗИ – задатчик интенсивности; РС – регулятор скорости; РСМ1 – регулятор соотношения моментов; БУМ1 – блок управления моментов; М1 – мотор; ДМ – датчик скорости; ПМ1 – передаточный механизм; ИО1 – исполнительный орган

Рис. 4. Структурная схема многодвигательного электропривода с корректировкой значений индивидуальных приводов

В данной системе используются регуляторы соотношения моментов (РСМ1, РСМ2), которые позволяют корректировать значения частот индивидуальных преобразователей частоты для достижения необходимых соотношений, в том числе равенства моментов. Аналогично предыдущим вариантам систем, эти соотношения определяются коэффициентами $k_{см1}$ и $k_{см2}$ на основе значения момента задания ведущего привода [2, 5].

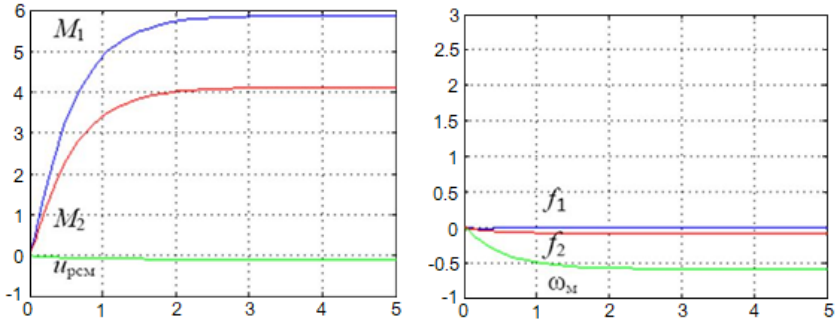
В системе управления структурной схемы №3 (рис. 4) предусмотрено несколько вариантов реализации.

Вариант 1. Задание отправляется в виде сигнала статорной частоты f_3. Все преобразователи частоты настраиваются с одинаковым временем разгона и торможения двигателя. Преобразователями частоты должна быть обеспечена скорость механизма, которую задал пользователь. Для равномерного распределения нагрузки заданный момент на первом приводе сравнивается с моментом на каждом из остальных приводов, и частота

корректируется соответственно с использованием регуляторов соотношения моментов РСМ1, РСМ2 и регуляторов частоты РС1, РС2, РС3. При реализации данной системы управления частота, момент и команды управления передаются с первого преобразователя частоты на остальные через сеть [3, 4].

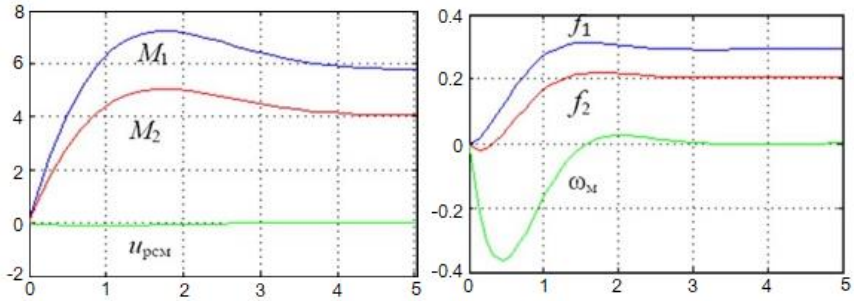
Вариант 2. В этой системе управления задается скорость механизма, а в качестве регуляторов используются регуляторы скорости РС1, РС2 и РС3. Информация о скорости получается либо путем оценки скорости двигателей с блоков БУМ1-БУМ3, либо с датчиков скорости, установленных на каждом двигателе. Устанавливается общее значение скорости с одинаковыми временами разгона и торможения механизма. При аналогичных условиях работы системы по сравнению с первым вариантом, коррекция моментов и частоты преобразователей поступает с РСМ1 и РСМ2 на блоки БУМ2 и БУМ3 соответственно, что показано пунктирными линиями на схеме (рис. 4). Используя ПИ-регуляторы скорости в данном случае, можно достичь высокой стабильности скорости $\upsilon_м$ или $\omega_м$ при значительных изменениях нагрузки на приводы в соответствии с заданными параметрами [3, 4].

Динамические процессы двух приводов вариантов №1 и №2 систем управления изображены на рис. 5 и 6. Анализ графиков по показателям моментов и частоты электроприводов показывает, что схема 3 (рис. 4) является наилучшим вариантом использования для многодвигательного электропривода. Она позволит согласовать работу нескольких независимых друг от друга электродвигателей, работающих на общий вал. Подобное согласование позволяет избежать аварийных ситуаций механической части оборудования с многодвигательным электроприводом [6].



M1, M2 – моменты двигателей, $U_{рсм}$ – выходная переменная регулятора соотношения момента, $\omega_м$ – частота вращения механизма, f_1 и f_2 – частоты приводов

Рис. 5. Динамические процессы при возмущающих воздействиях, вариант №1



M1, M2 – моменты двигателей, $U_{рсм}$ – выходная переменная регулятора соотношения момента, $\omega_м$ – частота вращения механизма, f_1 и f_2 – частоты приводов

Рис. 6. Динамические процессы при возмущающих воздействиях, вариант №2

Вывод. Независимые электроприводы выполнены одинаково, по структуре ведущего привода с регуляторами скорости. Также схема позволяет получить высокую стабильность системы с помощью индивидуальных блоков регуляторов соотношений моментов для получения нужных соотношений, в том числе и равных значений моментов.

Список литературы

1. Анучин А.С. Система управления электроприводов: учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 375. с.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Академия, 2006. – 272 с.
3. Выравнивание нагрузки с помощью преобразователей частоты Altivar 71. Руководство пользователя. – 18 с.
4. Руководство для Siemens Simovert Masterdrives Application Manual. – 942 с.
5. Белов М.П. Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов технологических комплексов: учебник для вузов. – М: Изд. Центр «Академия» 2007.
6. Пугачев Е.В., Кипервассер М.В., Аниканов Д.С. Контроль работоспособности конвейерного транспорта посредством регистрации параметров электропривода // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – № 3(97). – С. 101-105.

УДК 681.518.22+681.518.5: 621.313.333

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

к.т.н. Поползин И.Ю.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье приведены сведения об одном из перспективных способов модернизации асинхронного электропривода шахтных подъемных установок – применении схемы машины двойного питания. Актуальность вопроса обусловлена тем, что в большом числе подъемных электроприводов применены мощные асинхронные двигатели с фазным ротором и подключенной к нему роторной станцией, модернизация которых с использованием частотного управления не всегда возможна и сопряжена с рядом трудностей.

***Ключевые слова*:** асинхронный двигатель с фазным ротором, машина двойного питания, электропривод, подъемная установка, частотное управление.

С 1995 года на базе кафедры автоматизированного электропривода и промышленной электроники СибГИУ (с 2016 г. – кафедра электротехники, электропривода и промышленной электроники) и ООО «НИИ АЭМ СибГИУ» проводятся НИОКР, направленные на разработку систем автоматизации, управления, защит и мониторинга для производственных объектов горно-металлургического комплекса Кузбасса и других регионов на российской элементной базе.

Существующие электроприводы на основе асинхронных электродвигателей с фазным ротором (например, применяемые на шахтных и рудничных подъемных установках) обычно построены по схеме с роторной станцией и ступенчатым переключением величины активного сопротивления в цепи ротора. В таких приводах значительная часть подведенной к двигателю энергии рассеивается в виде тепла на резисторах роторной станции, что существенно снижает их КПД и энергоэффективность. Также следует учитывать, что регулирование скорости машины с помощью переключения ступеней сопротивлений роторной станции из-за бросков тока, а, следовательно, и момента двигателя в момент переключения ступеней, ведет к возникновению значительных по величине динамических нагрузок в канатах и ударам в механической части привода, что отрицательно сказывается на надежности привода в целом. В то же время данная схема электропривода до сих пор находит достаточно широкое применение (в основном, в

Научное издание

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Под общей редакцией профессора В.Н. Фрянова

Компьютерная верстка Л.Д. Павловой

Подписано в печать 21.05.2024 г.
Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 20,80 Уч.-изд. л. 22,09 Тираж 1000 экз. Заказ 97

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ