Электромеханика

УДК 62-83-52: 621.314.632: 621.313.33

ПУСКОВОЕ УСТРОЙСТВО ДРОССЕЛЬНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

А.М. Борисов, Г.И. Драчев, Н.Е. Лях, А.С. Нестеров, А.Н. Шишков
г. Челябинск, ЮУрГУ

Рассмотрены преимущества и недостатки использования индуктивных реостатов в роторной цепи электродвигателя с фазным ротором для обеспечения плавного пуска. Предложена простая схема пускового устройства дроссельного электропривода, обеспечивающая плавный выход с механической характеристики двигателя с дросселем в цепи ротора на естественную механическую характеристику. Представлена функциональная схема разработанного устройства. С помощью диаграмм пояснен принцип работы устройства. Приведены экспериментальные временные диаграммы изменения частоты вращения, тока статора и тока ротора при осуществлении пуска электродвигателя с индуктивным реостатом и новым устройством в роторной цепи.

В настоящее время в крановом электроприводе получают все более широкое применение, особенно для модернизации существующих электроприводов, пусковые индуктивные реостаты (в дальнейшем изложении дроссели). Они включаются в цепь ротора асинхронных электродвигателей с фазным ротором для ограничения бросков тока в переходных процессах пуска и торможения электродвигателей [1].

Дроссель представляет собой для каждой фазы ферромагнитный сердечник из конструкционной стали с намотанной на него обмоткой. Для приводов малой мощности (примерно до 40 кВт) используются трехфазные дроссели. В качестве сердечников в них применяются Ш-образно расположенные между двух стягивающих швеллеров отрезки труб. Такие дроссели внешне напоминают трехфазные трансформаторы.

Для приводов мощностью больше 40 кВт в каждую фазу включается однофазный дроссель, представляющий собой замкнутый магнитопровод квадратной или треугольной формы из толстостенных листов конструкционной стали.

Особенностью дросселей является автоматическое уменьшение их комплексного сопротивления в процессе разгона двигателя при пуске. При неподвижном роторе электродвигателя в начале пуска частота тока ротора равна 50 Гц и сопротивление дросселя велико. С ростом скорости частота тока ротора падает, а, следовательно, уменьшается и сопротивление ротора. По окончанию пуска сопротивление дросселя практически равно сопротивлению обмотки дросселя.

При применении дросселя исключается из ротора вся коммутационная пусковая аппаратура, а надежность дросселя очевидна и не требует дополнительных комментариев.

Однако применение дросселя имеет и ряд недостатков. Механическая характеристика привода в установившихся режимах более мягкая, чем естественная механическая характеристика электродвигателя. За счет активного сопротивления обмоток дросселя при минимальной частоте тока ротора происходит снижение скорости привода при номинальном моменте на 5–10 %. При этом происходит увеличение тока, а, следовательно, и увеличение потерь электроэнергии по сравнению с работой на естественной механической характеристике электродвигателя.

Снижение скорости электропривода с дросселем в роторной цепи под нагрузкой снижают производительность механизмов при осуществлении больших перемещений.

Поэтому возникает необходимость по окончании пуска электродвигателя обеспечить выход на его естественную механическую характеристику.

Решение этой задачи возможно замыканием колец ротора контактором по завершении пуска, но при этом возможны недопустимо большие броски токов, сопровождаемые ударами в электроприводе.

В данной статье представляется разработанное пусковое устройство, обеспечивающее плавный выход с механической характеристики двигателя с дросселем в цепи ротора на естественную механическую характеристику – устройство выхо-

да на естественную характеристику (УВЕХ). При этом выход происходит без сильных бросков (не больше пусковых значений) токов статора и ротора. При выходе на естественную механическую характеристику обеспечивается более высокая скорость передвижения механизма, что позволяет увеличить производительность приводного механизма, а также снизить значения статических токов ротора и статора.

Устройство пуска (рис. 1) асинхронного электродвигателя М1 включает в себя дроссель Др, подключенный к кольцам ротора электродвигателя, блок силовых тиристоров БТ, также подключенный к кольцам ротора электродвигателя, и панель управления ПУ.

Блок БТ включает в себя три тиристора VS1, VS2 и VS3, соединенных в треугольник. Его назначение – замыкание колец ротора по окончании пуска электродвигателя, то есть исключение дросселя из работы.

Панель управления ПУ формирует сигналы управления тиристорами блока БТ.

Панель ПУ имеет источник питания ИП, подключенный к статорной цепи электродвигателя, поэтому работа устройства происходит только при наличии питания статорной цепи электродвигателя. ИП представляет собой выпрямитель с фильтром. Блок задания напряжений БЗН подключен к ИП и представляет собой ряд потенциометрических резисторов, с которых снимаются сигналы необходимого уровня. Это, прежде всего, напряжение пороговое $U_{ПОР}$ и напряжение $U_{ТЕМП}$, определяющее темп нарастания напряжения $U_И$ на выходе блока интегрирования БИ.

Непосредственно к кольцам ротора подключаются первичные обмотки понижающих трансформаторов TV_A, TV_B и TV_C. Трансформаторы имеют по две вторичных обмотки. Первые вторичные обмотки трансформаторов подключаются к блоку формирования напряжения обратной связи ОС, представляющему собой выпрямитель с фильтром. Вторые вторичные обмотки трансформаторов подключены к входам блоков выделения положительной полуволны напряжения ВП на соответст-

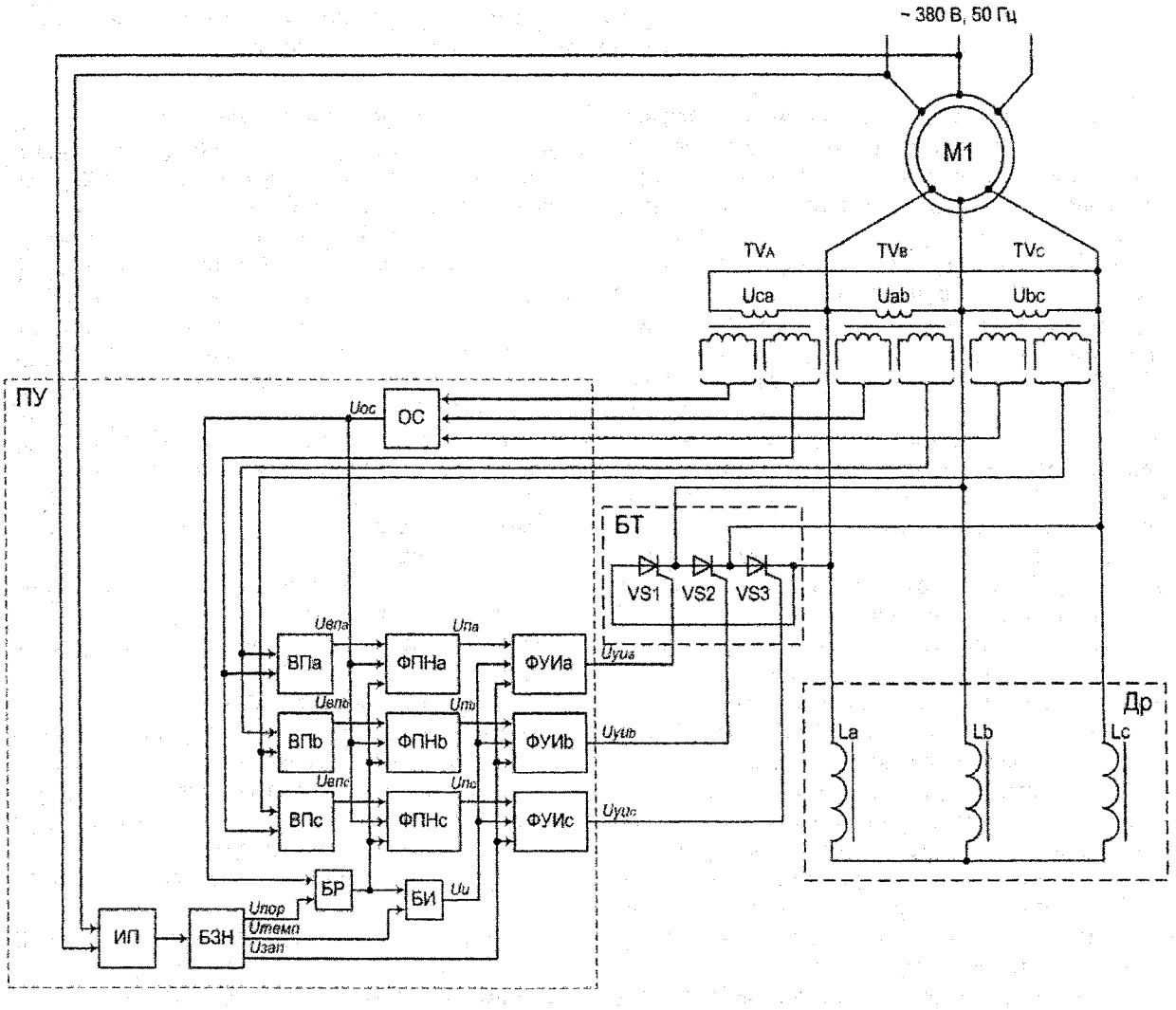


Рис. 1. Функциональная схема роторной цепи электродвигателя с пусковым устройством

вующих тиристорах блока БТ. Блоки ВП представляют собой компараторы. Блоки формирования пилообразных напряжений ФПН каждой фазы представляют собой интеграторы выходного напряжения $U_{ОС}$ блока ОС при наличии разрешения с блока БР. Блок БР сравнивает напряжение $U_{ОС}$ с пороговым напряжением $U_{ПОР}$ с блока БЗН и выдает разрешение на работу блока ФПН при условии, если $U_{ОС}$ меньше установленного напряжения порога $U_{ПОР}$. При исчезновении положительной полуволны напряжения на тиристоре напряжение на выходе соответствующего блока ФПН устанавливается равным нулю. Блок БИ задает темп выхода электропривода на естественную механическую характеристику. Он начинает интегрирование напряжения $U_{ТЕМП}$ на выходе блока БЗН лишь при наличии напряжения на выходе блока БР. Напряжения управления на тиристорах блока силовых тиристоров формируются для каждого тиристора своим блоком формирования управляющего импульса ФУИ. Блок ФУИ суммирует напряжение $U_{И}$ на выходе блока БИ с выходным напряжением $U_{П}$ соответствующего блока. Это суммарное напряжение условно названо напряжением опорным $U_{ОП}$. Управляющее напряжение на цепи управляющий электрод – катод тиристора появляется лишь тогда, когда $U_{ОП}$ превышает напряжение запирания тиристора $U_{ЗАП}$, поступающее с блока БЗН.

Идея работы устройства заключается в следующем. При подаче питания на статорную цепь происходит пуск электродвигателя с дросселем в роторной цепи. Тиристоры при этом заперты и никакого влияния на пуск не производят. По мере разгона электродвигателя напряжение его ротора падает и при достижении наперед установленного уровня, названного напряжением пороговым, вступает в работу ПУ, формируя угол открытия тиристоров близкий к 180°. Затем в функции времени угол открытия тиристоров постепенно уменьшается до 0°, закорачивая кольца ротора. Темп открытия тиристоров можно устанавливать в зависимости от требований технологии и ограничения токов в процессе выхода на естественную характеристику.

Управление всеми тиристорами осуществляется однотипно и принцип работы устройства на временных диаграммах достаточно пояснить на примере тиристора, подключенного между фазами A и B (рис. 2).

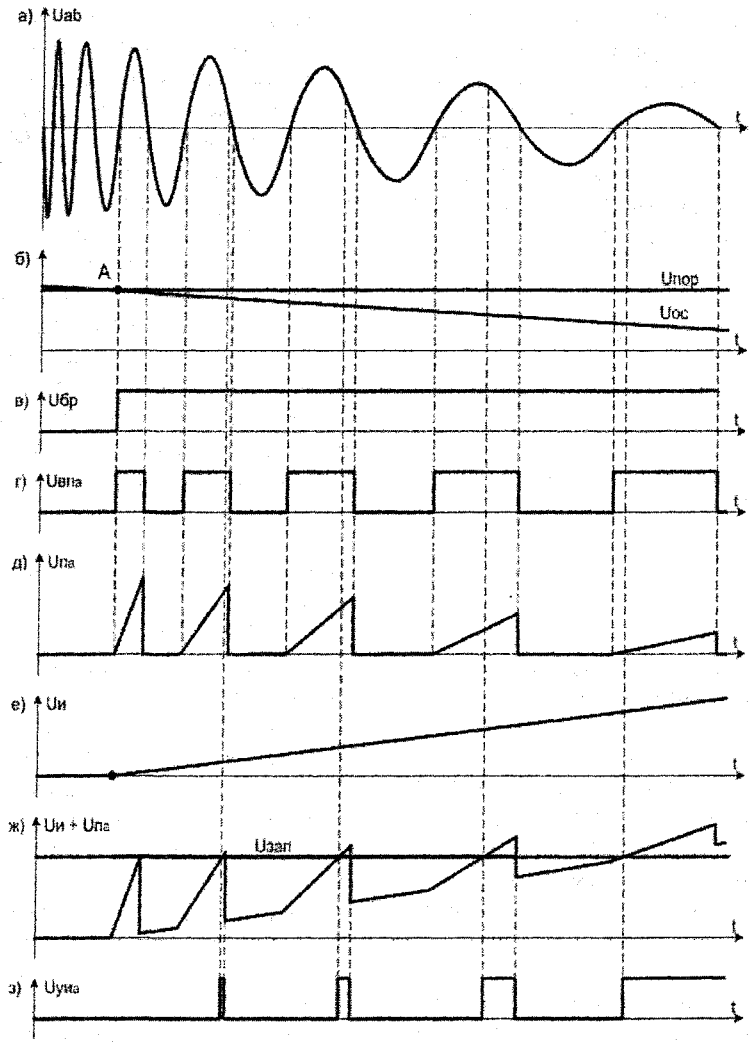


Рис. 2. Временные диаграммы напряжений

Напряжение U_{ab} (рис. 2а) в процессе пуска уменьшается по амплитуде и частоте. Соответственно в процессе разгона электродвигателя происходит уменьшение напряжения обратной связи $U_{ОС}$. В точке А (рис. 2б) напряжение $U_{ОС}$ становится равным пороговому напряжению $U_{ПОР}$ и появляется напряжение $U_{БР}$ на выходе БР (рис. 2в), которое сохраняется при дальнейшем разгоне и при работе привода в установившемся режиме. Напряжение $U_{ВПа}$ (рис. 2г) дает разрешение на интегрирование напряжения $U_{ОС}$ и формируется пилообразное напряжение $U_{Па}$. Как видно из рис. 2д напряжение $U_{Па}$ меняется в процессе пуска как по темпу нарастания, так и по амплитуде в конце участка интегрирования. При наличии напряжения $U_{БР}$ блок БИ начинает интегрировать напряжение $U_{ТЕМП}$, заданное блоком БЗН (рис. 2е). В блоках ФУИ происходит суммирование напряжений $U_{И}$ и $U_{Па}$ с выходов блока интегрирования и блока ФПН соответственно для каждой фазы и сравнение с запирающим напряжением $U_{ЗАП}$ (рис. 2ж). При превышении суммой $U_{И}+U_{Па}$ напряжения $U_{ЗАП}$ блоки ФУИ формируют управляющие импульсы $U_{УИа}$ на открытие тиристоров для каждой фазы отдельно и независимо от других фаз (рис. 2з).

По мере увеличения напряжения $U_{И}$ ширина импульсов управления $U_{УИа}$ увеличивается, и при превышении $U_{И}$ напряжения $U_{ЗАП}$ на выходе блоков ФУИ устанавливается постоянный сигнал на открытие тиристоров (рис. 2з). Таким образом, тиристоры, соединенные в треугольник, полностью открыты. В этом случае электродвигатель работает на естественной характеристике *1* (рис. 3).

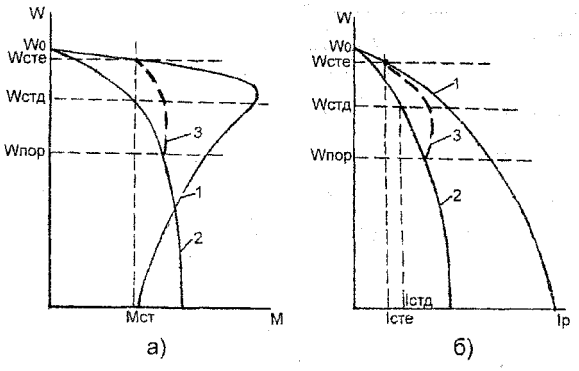


Рис. 3. Механические и электромеханические характеристики электропривода

На рис. 3 представлены механические и электромеханические характеристики двигателя естественные *1* при отсутствии дросселя и искусственные *2* при включении дросселя в роторную цепь.

Механическая дроссельная характеристика *2* в рабочей зоне имеет жесткость меньше, чем на естественной механической характеристике *1* (рис. 3а). Поэтому скорость при статическом моменте $M_{СТ}$ на дроссельной характеристике $w_{СТД}$ на 10–15 % ниже, чем скорость $w_{СТЕ}$ на естественной характеристике.

При пуске электродвигателя разгон на первом этапе идет по характеристике *2* до скорости пороговой $w_{ПОР}$. Это скорость устанавливается при настройке регулятора. До этой скорости тиристоры регулятора закрыты и не оказывают влияния на пуск. При превышении скоростью значения $w_{ПОР}$ устройство вступает в работу.

В функции времени он начинает приоткрывать тиристоры БС и дальнейший разгон идет по промежуточной (штриховой) характеристике *3*. При окончании пуска тиристоры БС полностью открыты, кольца ротора замкнуты тиристорами.

Следует отметить, что ток статический при завершении пуска на естественной характеристике $I_{СТЕ}$ (рис. 3б) меньше, чем ток $I_{СТД}$ на дроссельной характеристике при одном и том же статическом моменте $M_{СТ}$.

Это обусловлено тем, что на естественной характеристике в установившемся режиме частота тока в роторной цепи меньше, чем на дроссельной характеристике, и ток ротора становится более активным. Поэтому на естественной характеристике тот же $M_{СТ}$ создается при меньшем значении тока ротора. Таким образом, разработанное устройство не только обеспечивает работу электропривода на максимальных скоростях, но и облегчает тепловой режим работы электродвигателя и уменьшает расход электроэнергии.

На рис. 4 представлены экспериментально снятые на электродвигателе MTF 111-6У1 ($U_{Н}$=380 В, $P_{Н}$=3,5 кВт, $I_{СТ}$=10,8 А, E_{20}=176 В, $I_{Р}$=15 А, n=900 об/мин) осциллограммы.

На рис. 4а и рис. 4б представлены диаграммы изменения тока ротора $I_{Р}$, частоты вращения вала электродвигателя w и тока статора $I_{С}$ во времени при пуске и отключении при моменте $M_{СТ}$ равном 0,75 от момента номинального $M_{Н}$. На рис. 4в и рис. 4г представлены аналогичные осциллограммы тех же процессов, но при работе пускового устройства. Из сопоставления соответствующих осциллограмм видно, что броски токов статора и ротора электродвигателя при работе пускового устройства практически не превышают бросков в первый момент подачи напряжения на статор электродвигателя.

Лабораторные и производственные испытания показали работоспособность разработанного устройства.

Данное устройство может быть использовано для оснащения механизмов подъема, моста, тележки кранов, для механизмов металлургического и машиностроительных производств, требующих сохранения максимальных скоростей электропривода, соответствующих скоростям на естественной механической характеристике электродвигателя.

При модернизации устаревшего оборудования устройство совместно с пусковым дросселем предназначено для замены шкафов с сопротивлениями для роторной цепи и контакторов, обслуживающих их переключение. При такой замене уве-

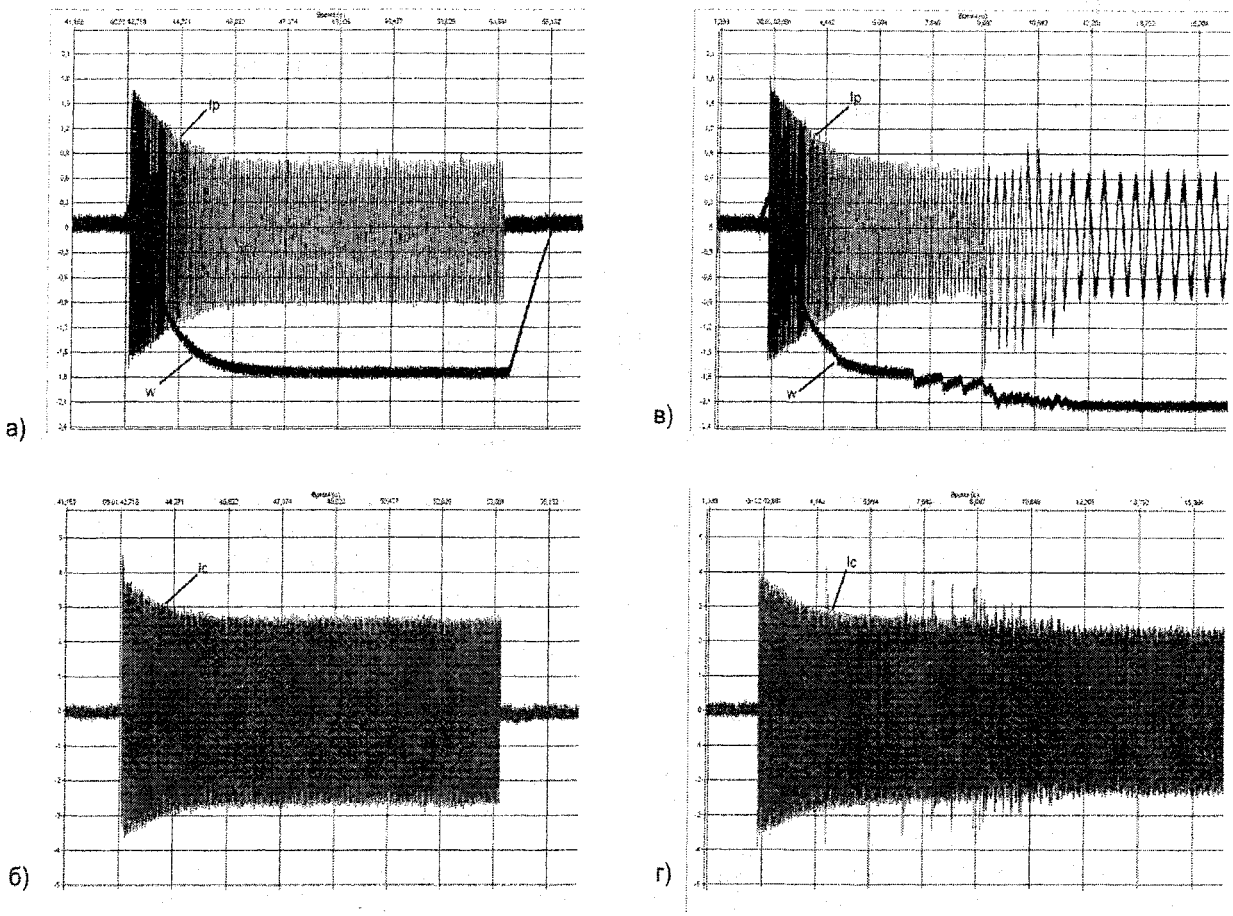


Рис. 4. Осциллограммы тока ротора Ip, тока статора Ic и частоты вращения w при отсутствии (а и б) и наличии (в и г) пускового устройства

личивается надежность работы привода и его межремонтный срок эксплуатации.

В настоящее время разработанное устройство установлено на различных механизмах нескольких предприятий, например, на грейферном кране Коркинского угольного разреза в Челябинской области, на буровой установке Альметьевского управления ООО «Татнефтьбурение» и ряде других.

Литература

1. Пусковые характеристики дроссельного асинхронного электропривода/ А.М. Борисов, Г.И. Драчев, Н.Е. Лях, В.И. Ильинов// Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2001. – Вып. 1. – № 4.

Борисов Александр Михайлович, профессор кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ЮУрГУ, канд. техн. наук., доцент.

Драчев Геннадий Иванович, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ЮУрГУ, канд. техн. наук.

Лях Николай Ефимович, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ЮУрГУ, канд. техн. наук.

Нестеров Александр Сергеевич, аспирант кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ЮУрГУ.

Шишков Александр Николаевич, аспирант кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ЮУрГУ.