

Рис. 3. Результаты моделирования

На верхнем графике осциллограммы представлена диаграмма ШИМ на выходе контроллера, ниже она же, но отфильтрованная аperiодическим звеном первого порядка. Далее представлен график переходного процесса скорости вращения двигателя с учетом возмущения по нагрузке, смоделированным переключателем SW2, а самый нижний график представляет собой сигнал с выхода силовых ключей преобразователя УМ.

Таким образом, использование имитационной модели позволяет не только выбрать микроконтроллер, но и отладить

общее программное обеспечение управляющего микроконтроллера и программную модель регулятора в динамике с наглядной визуализацией различных режимов работы электропривода.

#### Библиографический список

1. Грудинин В.С. Информационные и управляющие системы в технике. Учебное пособие. 2-е изд., испр. и дополн.- Киров: ООО «Фирма Полекс», 2008.-136 с.:ил.
2. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления. //Под ред. В.А. Бесекерского. – М.: Наука, 1969.- 588 с.

#### Сведения об авторах

Грудинин Виктор Степанович, к.т.н., доцент кафедры ЭПиАПУ ФГБОУ ВПО «ВятГУ», Тел. 88332642525.

Малышев Евгений Николаевич, к.т.н., доцент кафедры ЭПиАПУ ФГБОУ ВПО «ВятГУ», Тел. 88332642525.

Сбоев Виктор Минеевич, к.т.н., доцент кафедры ЭПиАПУ ФГБОУ ВПО «ВятГУ», Тел. 88332642525.

УДК 621.314.2

## ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ТИРИСТОРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В СИСТЕМАХ ПЛАВНОГО ПУСКА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

А.А. ТКАЧУК, канд. техн. наук, А.Ю. СИЛУКОВ, ведущий инженер,  
А.А. ШЕЛГАЧЕВ, зав. сектором, В.В. ЕПИФАНОВ, ведущий инженер

В докладе приведены результаты применения тиристорных преобразователей для плавного пуска высоковольтных асинхронных и синхронных электроприводов механизмов центробежного принципа действия. Рассмотрены основные характеристики разработанных и производимых серийных преобразователей.

Ключевые слова: тиристорный преобразователь, устройство плавного пуска, электропривод.

## HIGH-VOLTAGE THYRISTOR CONVERTERS IN SYSTEMS OF SOFTSTART OF ELECTRIC DRIVES

A.A. TKACHUK, Candidate of Engineering, A.Y. SILUKOV, Lead Engineer,  
A.A. S<9 @ 57 <9J, Divisional Manager, V.V. EPIFANOV, Lead Engineer

**The report covers the results of application of thyristor converters for soft start of high-voltage synchronous and asynchronous drives of centrifugal action machines. Main characteristics of developed and produced serial converters are considered.**

*Key words:* thyristor converters, softstart, electric drive.

**Актуальность.** Нерегулируемый по скорости электропривод (ЭП) переменного тока является наиболее массовым во всех отраслях промышленности и в энергетике. При этом самым ответственным режимом нерегулируемых ЭП является пуск в работу. Это особенно актуально при пуске высоковольтных асинхронных и синхронных двигателей с номинальным напряжением 3, 6 и 10 кВ. Электрические машины такого класса напряжения являются довольно энергоёмкими объектами. Иногда мощность единичного двигателя соизмерима с мощностью питающей сети или трансформаторной подстанции. Прямой пуск таких двигателей от сети, особенно для ЭП с большим моментом инерции, обладает рядом известных недостатков, главными из которых являются значительные по величине и продолжительные по времени пусковые токи и удары момента на валу. Поэтому ограничение величины пусковых токов, рационализация графика включения и отключения такого рода электроприводов является весьма актуальной задачей [1,3,4]. Благодаря прогрессу в области разработки и массового производства силовых полупроводниковых приборов снижается их стоимость и значительно расширяется область использования различных устройств на их базе. Тиристорные высоковольтные преобразователи напряжения (ТПН) всё более широко применяются в качестве устройств плавного пуска высоковольтных ЭП [5,6]. Высокие технико-экономические показатели получают при плавном пуске мощных электроприводов механизмов центробежного принципа действия: насосов, вентиляторов, компрессоров и т.п. [7,8].

Показатели экономической эффективности, при сохранении всех положительных характеристик индивидуального ЭП, повышаются при использовании тиристорного преобразователя напряжения для плавного пуска группы высоковольтных двигателей центробежных механизмов (ЦМ). В этом случае достаточно одного тиристорного преобразователя напряжения для поочерёдного плавного пуска всех двигателей для группы электроприводов [8,9].

**Обзор устройств плавного пуска.** Постоянно возрастающий спрос на устройства плавного пуска высоковольтных ЭП, относительная простота схемного решения при

сопряжении с системой электроснабжения, высокий уровень автоматизации и надёжность в эксплуатации обусловили целесообразность разработки и серийного производства рядом предприятий комплектного электротехнического оборудования для плавного пуска как асинхронных, так и синхронных электродвигателей. К наиболее крупным производителям устройств плавного пуска относятся отечественные: ОАО «ВНИИР», ООО «ЧЭАЗ-ЭЛПРИ» (г.Чебоксары), ОАО «Электровыпрямитель» (г.Саранск); а также зарубежные: АББ, Солкон, Тошиба, ХЭМЗ и другие [9].

Изучение технических характеристик электротехнического оборудования для реализации систем плавного пуска различных фирм показал, что они в основном аналогичны и соответствуют современному уровню схемотехники подобного класса устройств. В качестве элементной базы, как правило, применяются силовые тиристоры высокого класса напряжения (6000 – 7000 В), которые соединяются в последовательные группы для достижения требуемого рабочего напряжения, вакуумная коммутационная аппаратура, микропроцессорная система управления, оптоволоконные средства передачи и потенциальной развязки сигналов между высоковольтным преобразователем и системой управления, бестрансформаторные цифровые датчики напряжения и т.п. [9,10].

Обзор литературы и энергетическое обследование ряда предприятий позволило обосновать перечень параметров приводных высоковольтных двигателей для номинальных линейных напряжений 3, 6 и 10 кВ. Обоснована и разработана шкала типоразмеров серийно изготавливаемых ЗАО «АСК» групповых преобразователей типа ПАД-В-Г и ПСД-В-Г (см. табл. 1) и комплектных преобразователей типа ПАД-В-К и ПСД-В-К (см. табл. 2). Преобразователи для плавного пуска электроприводов переменного тока, разрабатываемых и производимых ЗАО «АСК», структурно и по техническим характеристикам соответствуют аналогичным отечественным и зарубежным [11]. При этом есть и некоторые отличительные особенности. Используется силовая полупроводниковая, защитная и коммутационная элементная база преимущественно российских предприятий. Например – тиристоры производства ОАО

«Электровыпрямитель». Широко применяются материалы предприятий Уральского региона. Оригинальный алгоритм формирования автоматизированного плавного пуска обеспечивает простоту наладки, настройку на механизмы с различными механическими характеристиками и моментами инерции. Стоимость на 10-15 % ниже аналогичных отечественных устройств и на 40-50 % зарубежных. Гарантийный срок эксплуатации 5 лет. Имеется сертификат соответствия и разрешение федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору на применение на нефтепроводах, газопроводах и в горнодобывающей промышленности.

**Таблица 1 – Технические характеристики групповых преобразователей типа ПАД-В-Г и ПСД-В-Г**

Номинальные параметры двигателей		
Линейное напряжение, кВ	Мощность, МВт	Ток, А
3	0,315; 0,63	80; 160
	0,8	250
6	1; 2	125; 250
	3,15; 5	400; 630
	6,3; 10	800; 1250
10	1,6; 3,15	125; 250
	5; 8	400; 630
	12,5	800

Это достигнуто благодаря гармоничному сочетанию науки, разработки и производства, высокому уровню организации и стратегическому направлению ЗАО «АСК» на развитие отечественной техники и технологий.

**Таблица 2 - Технические характеристики комплектных преобразователей типа ПАД-В-К и ПСД-В-К**

Номинальные параметры двигателей		
Линейное напряжение, кВ	Мощность, МВт	Ток, А
3	0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8	63; 80; 100; 150; 200
	0,315; 0,4; 0,5; 0,63;	40; 50; 63; 80;

вентилирования силового тиристорного модуля. Структура системы автоматического управления преобразователя может быть настроена для различных режимов пуска двигателей. Благодаря наличию универсального программируемого задатчика [2,5,6] может быть реализован любой алгоритм формирования управляющего воздействия: с обратной связью по току или напряжению; в разомкнутой системе по времени. В преобразователь интегрирована автоматизированная система технического учёта электроэнергии и состояния электропривода. Необходимые данные каждые

	0,8; 1,0	100; 125
	1,4; 1,8; 2,2	160; 200; 250

**Принцип действия.** Тиристорный преобразователь напряжения управляет основным потоком электрической энергии, которая поступает от источника питания силовых цепей к электродвигателю через мощные тиристорные ключи. Вентильные каскады преобразователя содержат высоковольтные тиристоры, необходимые защитные и делительные элементы. Система датчиков, диагностики и управления преобразователем реализована на современной широкодоступной микроэлектронной базе с применением микроконтроллеров, программируемых логических интегральных схем и оптоволоконной техники. Помимо обеспечения плавного пуска преобразователи обладают рядом дополнительных возможностей: автоматическое управление внешней коммутационной аппаратурой; измерение напряжения, тока, мощности и энергии электродвигателя; автоматическое форсирование напряжения (тока) при несостоявшемся запуске ЭП; имеет защитную блокировку от подачи высокого напряжения на ТПН при ошибочных действиях обслуживающего персонала; имеет обширный набор параметров, которые дают возможность конфигурирования для широких областей применения; имеет изолированные дискретные и аналоговые входы и выходы; выдаёт подробную информацию о состоянии электропривода на дисплей; имеет встроенный модуль цифровой передачи данных по шине MODBUS; имеет энергонезависимые часы реального времени и календарь для протоколирования ошибочных ситуаций. Преобразователь оснащён комплексом защиты системы от: повышенного или пониженного напряжения сети; не симметрии напряжений и токов статора двигателя; не полнофазного режима работы; сверхтоков; замыкания на землю; коммутационных перенапряжений на тиристорах; дисбаланса вентильного каскада; перегрева и ухудшения 20 мс записываются на съёмный электронный носитель SD-карту. Памяти карты хватает примерно на один год непрерывной записи. Потом старые данные циклически удаляются. В любое время информация с SD-карты могут быть загружена на компьютер и проанализирована с высокой детализацией по времени и амплитуде.

На рис. 1 показан внешний вид серийного преобразователя типа ПСД-В-К-200-6к. В качестве примера на рис. 2 приведена типовая схема электроснабжения высоковольтных асинхронных электроприводов центробежных механизмов с системой

группового плавного пуска на базе тиристорного преобразователя напряжения типа ПАД-В-Г [8,10]. На рис. 3 приведена типовая схема электроснабжения с применением комплектных преобразователей типа ПАД-В-К для двух вариантов исполнений: с индивидуальным или групповым питанием [11,12].

**Внедрение.** В настоящее время на предприятиях России и за рубежом ЗАО «АСК» реализовано несколько десятков проектов системы группового и индивидуального плавного пуска синхронных и асинхронных ЭП с использованием ТПН на напряжение сети 3, 6 и 10 кВ и мощностью двигателя от 0,25 до 4 МВт [11,12]. В табл. 3 приведены основные заказчики систем плавного пуска. Из всего 8 летнего опыта внедрения можно показать что, большое количество устройств плавного пуска устанавливается в системы энергоснабжения не достаточной для прямого пуска мощностью. Это касается вновь вводимых объектов в устаревшую систему энергоснабжения. При этом главным критерием является снижение пусковых токов и удержание посадки напряжения на секциях шин в пределах допустимого ГОСТ 10% уровня. Однако, в другой группе механизмов с большим моментом инерции, например, к которым относятся турбокомпрессоры, вентиляторы, дымососы, главным критерием является снижение динамического момента при старте с целью повышения эксплуатационного ресурса именно механизма.

За последние годы специалистами ЗАО «АСК» накоплен значительный опыт в

разработке, производстве, внедрении и наладке высоковольтных систем плавного пуска на базе тиристорного преобразователя напряжения. Системы в полной мере соответствует предъявляемым требованиям, положительно зарекомендовали себя в эксплуатации и являются надёжными и конкурентоспособными изделиями в данном сегменте рынка.



Рисунок 1 – Комплектный преобразователь для плавного пуска синхронного двигателя типа ПСД-В-К-200-6к

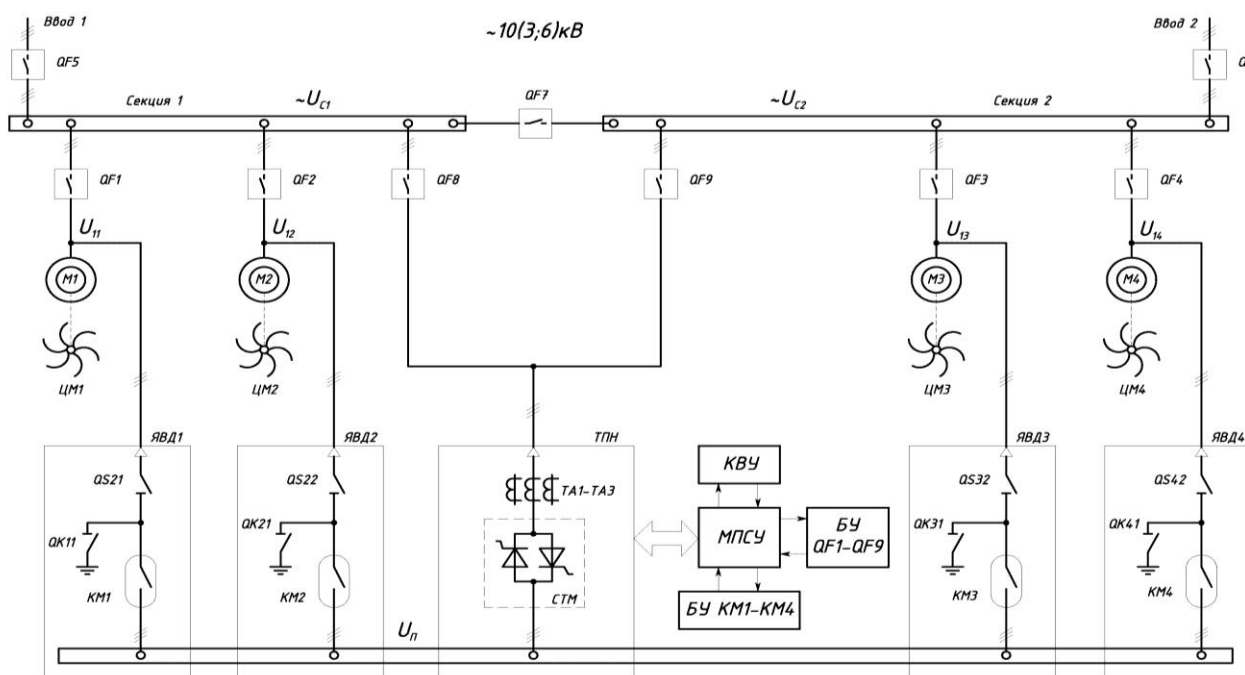


Рисунок 2 – Схема автоматизированного плавного пуска группы высоковольтных ЭП

На рисунке обозначены: ЦМ – центробежный механизм; ЯВД – ячейка выбора двигателей; ТПН – тиристорный преобразователь напряжения; КВУ – контроллер верхнего

уровня; МПСУ – микропроцессорная система управления; БУ – блок управления.



### Распределительная подстанция 6 кВ

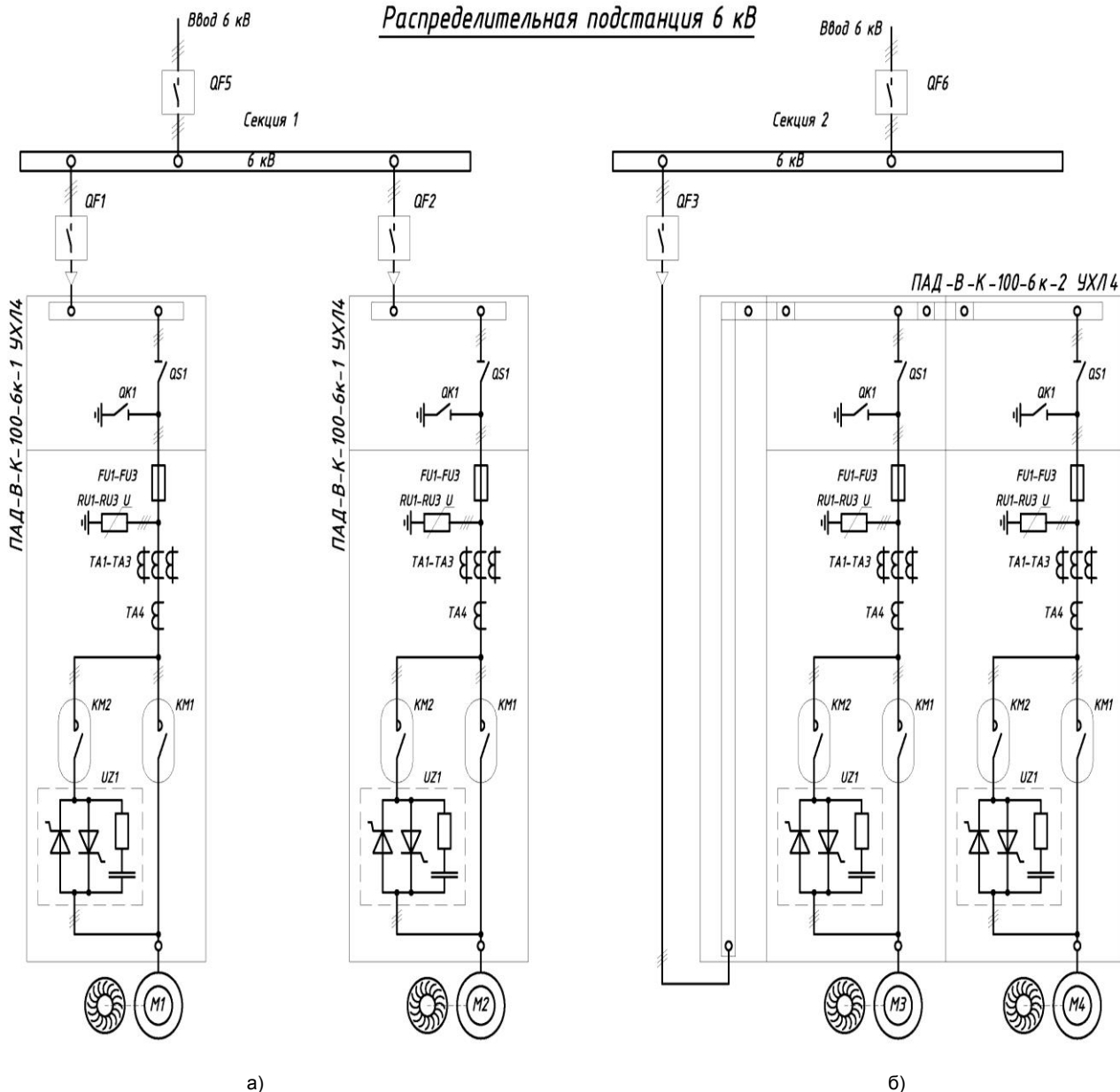


Рисунок 3 – Схема автоматизированного плавного пуска индивидуальных высоковольтных ЭП: а – вариант применения с индивидуальным питанием; б – вариант применения с групповым питанием

**Таблица 3 - География внедрения систем плавного пуска**

Технические характеристики	Заказчики
Турбо-компрессоры 1600 - 3200 кВт	УГМК, Высокогорский горно-обогатительный комбинат, Сухоложскцемент, Таджикский алюминиевый завод
Погружные насосы 250 кВт	УГМК
Дымососы 800 - 1700 кВт	Северский трубный завод, Чусовской металлургический завод

Технические характеристики	Заказчики
Центробежные насосы 630 - 3500 кВт	Транснефть, Магнитогорский металлургический комбинат, Саутс-Ойл (Казахстан), ОМК - Сталь
Плунжерные насосы 800 кВт	ВСМПО-АВИСМА
Аглоэкстаустеры 4000 кВт	Новолипецкий металлургический комбинат

## Библиографический список

1. Шубенко В.А., Браславский И.Я. Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением. М.: Энергия, 1972. – 232 с.
2. Ткачук А.А., Копырин В.С., Бородацкий Е.Г. Унифицированная микроконтроллерная система управления тиристорными преобразователями напряжения. – Материалы международной НТК «Наука и новые технологии в энергетике», Павлодар: ПГУ им. С.Торайгырова, 2002, с.170-175.
3. Копырин В.С., Ткачук А.А., Бородацкий Е.Г. Преобразователь типа ПАД для плавного пуска асинхронного электропривода. – В сб. докл. науч.-практ. семинара «Энергосберегающая техника и технологии». – Екатеринбург: Уральские выставки, 2002. – С.60.
4. Ткачук А.А., Силуков А.Ю., Кривовяз В.К. Опыт применения преобразователя типа ПАД-В для плавного пуска высоковольтных двигателей. – В сб. докл. науч.-практ. конф. «Проблемы и достижения в промышленной энергетике». – Екатеринбург: Уральские выставки, 2006. – с.122 – 125.
5. Тиристорный преобразователь для плавного пуска высоковольтных асинхронных двигателей /А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз, В.С. Копырин, А.Ю. Силуков // Силовая электроника. 2007. № 1.
6. Высоковольтный тиристорный преобразователь напряжения для плавного пуска электродвигателя переменного тока / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз, В.Н. Яковлев, В.С. Копырин // В сб. трудов международной 14-й НТК «Электроприводы переменного тока». УГТУ-УПИ. Екатеринбург, 2007.
7. Ткачук А.А., Копырин В.С. Групповой плавный пуск высоковольтных синхронных электроприводов компрессорных станций /Электротехнический рынок, 2007, № 12.
8. Плавный пуск группы высоковольтных асинхронных электроприводов центробежных механизмов / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз, В.С. Копырин, А.Ю. Силуков // Силовая электроника. 2008. № 2.
9. Плавный пуск группы высоковольтных синхронных электроприводов центробежных механизмов / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз, В.С. Копырин, А.Ю. Силуков // Силовая электроника. 2008. № 3.
10. Плавный пуск группы высоковольтных асинхронных электроприводов центробежных механизмов / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз // Насосы & оборудование. 2009. № 2(55).
11. Серия высоковольтных преобразователей для плавного пуска мощных электроприводов / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 3: в 5 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010, Ч.2.
12. Ткачук А.А., Кривовяз В.К. Опыт разработки и внедрения преобразователей для плавного пуска высоковольтных электроприводов // В сб. трудов международной 15-й НТК «Электроприводы переменного тока» / УГТУ-УПИ. Екатеринбург, 2012.

## Сведения об авторах

*Ткачук А.А.*, главный конструктор по высоковольтной преобразовательной технике ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы», кандидат технических наук. E-mail: [tkachuk@asc-ural.ru](mailto:tkachuk@asc-ural.ru).  
*Силуков А.Ю.*, ведущий инженер ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы». E-mail: [silukov@asc-ural.ru](mailto:silukov@asc-ural.ru).  
*Шелгачёв А.А.*, заведующий сектором внедрения ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы». E-mail: [shelgachev@asc-ural.ru](mailto:shelgachev@asc-ural.ru).  
*Епифанов В.В.*, ведущий инженер ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы». E-mail: [epifanov@asc-ural.ru](mailto:epifanov@asc-ural.ru).

УДК 621.31

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛА ТРАНСФОРМАТОРА ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Р.С.-Х. КАШАЕВ, д-р техн.наук

В работе представлена конструкция (по патенту №137156) термоэлектрического охладителя в виде установленных друг за другом (или друг над другом) каскадов термоэлементов, отводящих тепло (охлаждающих) вторичной обмотки трансформатора и других блоков, греющихся от тепла, рассеиваемого на активных и комплексных сопротивлениях обмоток, вихревых токов магнитопроводов. Данное тепло преобразуется в электрический ток, питающий вентилятор (кулер), охлаждающий спай термоэлементов, находящиеся в окружающей среде.

*Ключевые слова:* термоэлектрический охладитель, термоэлементы.