

Системы плавного пуска двигателей на основе высоковольтных тиристорных преобразователей

А.А. Ткачук

ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы»,
Екатеринбург, Россия

С.И. Шилин

Уральский энергетический институт,
Уральский федеральный университет им. первого
Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

Motor soft start systems based on high-voltage thyristor converter

A.A. Tkachuk

Automated Systems and Complexes,
Ekaterinburg, Russian Federation

S.I. Shilin

Ural Power Engineering Institute, Ural Federal University
named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Ekaterinburg, Russian Federation

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

The report is devoted to presentation of results of use of thyristor converters for soft start of high voltage asynchronous and synchronous electric drives of mechanisms with centrifugal operating principle. Main technical characteristics of designed and batch produced converters are given.

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

Keywords: *thyristor converter, soft start, electric drive.*

I. АКТУАЛЬНОСТЬ

Нерегулируемый по скорости электропривод (ЭП) переменного тока находит наибольшее распространение во всех отраслях промышленности и в энергетике. При этом особо 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 достаточно энергоёмкими объектами. Прямой пуск таких электродвигателей от сети, особенно с механизмами, у которых большой момент 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 ЭП 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) все более широко применяются в качестве устройств плавного пуска высоковольтных электроприводов [2]. Высокие технико-экономические показатели получают при плавном пуске мощных ЭП механизмов центробежного принципа действия: насосов, вентиляторов, компрессоров, дымососов и т.п. [6].

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 ТПН для поочередного плавного пуска всех двигателей группы электроприводов [3, 4].

II. ОБЗОР УСТРОЙСТВ ПЛАВНОГО ПУСКА

Постоянно возрастающий спрос на устройства плавного пуска высоковольтных ЭП, относительная простота схемного решения при сопряжении с системой электропитания, 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 др. [6].

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 полупроводниковой элементной базы, как правило, применяются силовые тиристоры высокого класса напряжения (6000–7000 В и выше). Тиристоры соединяются в последовательные группы для достижения требуемого рабочего напряжения. Для оперативных переключений используется вакуумная коммутационная аппаратура. Система управления построена на базе однокристальных микропроцессоров и программируемых логических интегральных схем. Для потенциальной развязки цифровых сигналов между высоковольтным преобразователем и системой управления применяются оптоволоконные линии связи. В качестве измерителей напряжения и тока в наиболее современных устройствах используются бестрансформаторные цифровые датчики с развязкой логическими сигналами и т.п. [5].

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 «Автоматизированные системы и комплексы» групповых преобразователей типа ПАД-В-Г и ПСД-В-Г (табл. 1) и комплектных преобразователей типа ПАД-В-К и ПСД-В-К (табл. 2).

Преобразователи для плавного пуска электроприводов переменного тока, разрабатываемых и производимых ЗАО «АСК», структурно и по техническим характеристикам соответствуют аналогичным отечественным и зарубежным [3]. При этом есть и некоторые отличительные особенности. Используется силовая полупроводниковая, защитная и коммутационная эле-

ментная база преимущественно российских предприятий. Широко применяются материалы и комплектующие 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. Это достигнуто благодаря гармоничному сочетанию науки, разработки и производства, высокому уровню организации и стратегическому направлению ЗАО «АСК» на развитие отечественной техники и технологий.

III. 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. Кроме того, они обеспечивают автоматическое форсирование напряжения (тока) при несостоявшемся запуске ЭП; имеет защитную блокировку от подачи высокого напряжения на ТПН при ошибочных действиях обслуживающего персонала. Предусмотрен обширный набор параметров, которые дают возможность конфигурирования для широких областей применения; имеет изолированные дискретные и аналоговые входы и выходы; выдает подробную информацию о состоянии электропривода на сенсорный графический дисплей; имеет встроенный модуль цифровой передачи данных по шине MODBUS; имеет энергонезависимые часы реального времени и календарь для протоколирования ошибочных ситуаций.

Преобразователь оснащен комплексом защиты системы от повышенного или пониженного напряжения сети; несимметрии напряжений и токов статора двигателя; неполнофазного режима работы; сверхтоков; дугового разряда в высоковольтном отсеке; замыкания на землю; коммутационных перенапряжений на тиристорах; дисбаланса вентильного каскада; перегрева и ухудшения вентиляции силового тиристорного модуля. Структура системы автоматического управления преобразователя

Таблица 1

Технические характеристики групповых преобразователей типа ПАД-В-Г и ПСД-В-Г

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

Таблица 2

Технические характеристики комплектных преобразователей типа ПАД-В-К и ПСД-В-К

Номинальные параметры электродвигателей		
Напряжение, кВ	Мощность, МВт	Ток, А
3	0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8	63; 80; 100; 150; 200
6	0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,4; 1,8; 2,2	40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250

может быть настроена для различных режимов пуска двигателей. Благодаря наличию универсального программируемого задатчика [2, 4] 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 учета электроэнергии и состояния электропривода. Необходимые данные каждые 20 мс записываются на съемный 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 может быть загружена на компьютер и проанализирована с высокой детализацией по времени и амплитуде.

На рис. 1 показан внешний вид серийного комплектного преобразователя типа ПАД-В-К-200-6к. В качестве примера на рис. 2 приведена типовая схема электропитания высоковольтных синхронных электроприводов центробежных механизмов с системой группового плавного пуска на базе тиристорного преобразователя напряжения типа ПСД-В-Г [5, 6]. Для автоматизированного управления высоковольтными ячейками и тиристорными возбудителями применяются специализированные блоки согласования БСЯ и БСВ. Связь с ними осуществляется по оптоволоконной линии связи.



Рис. 1. Комплектный преобразователь для плавного пуска асинхронного двигателя типа ПАД-В-Г-200-6к

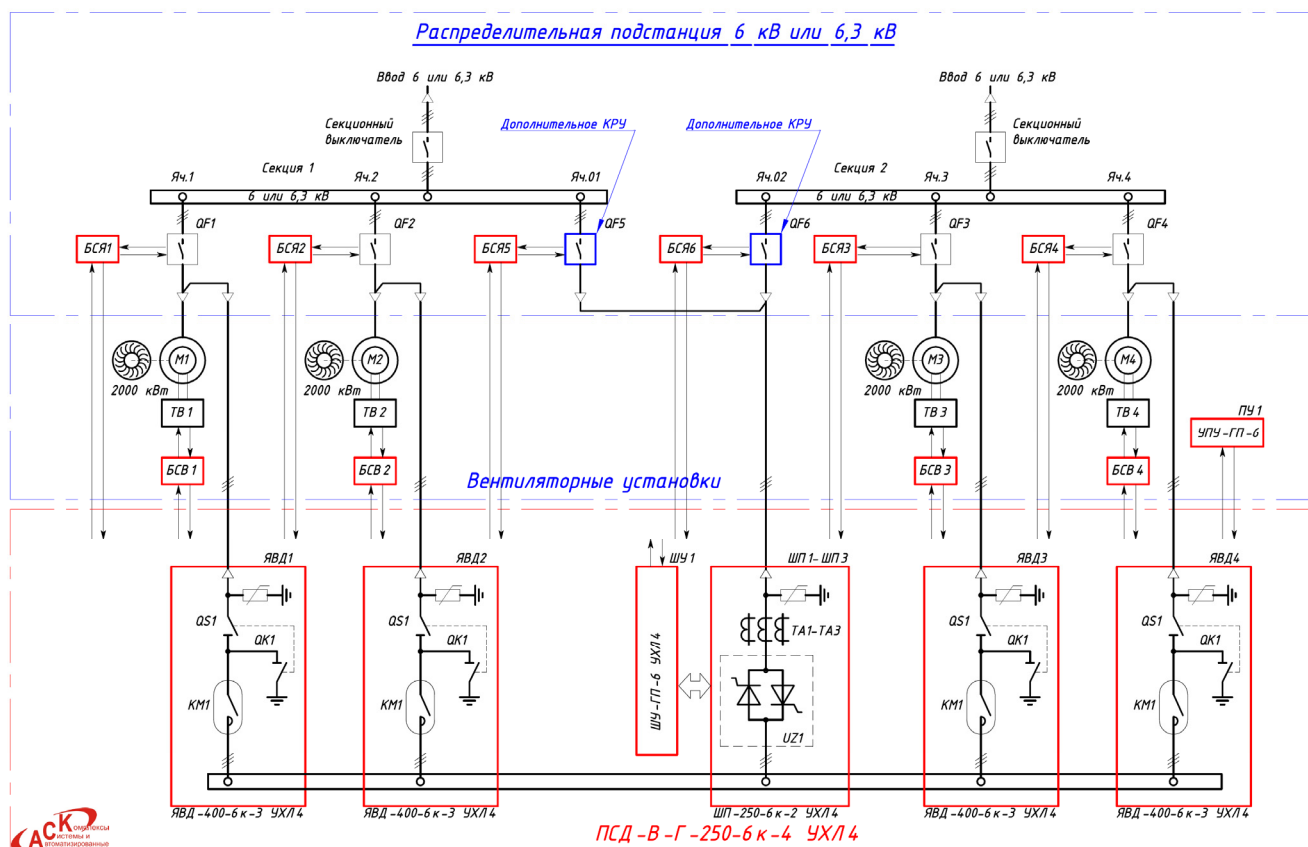


Рис. 2. Схема автоматизированного плавного пуска группы высоковольтных синхронных электроприводов турбомеханизмов

IV. ВНЕДРЕНИЕ

В настоящее время на предприятиях России и за рубежом ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы» 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 [6]. В табл. 3 приведены основные заказчики систем плавного пуска. Из всего десятилетнего опыта внедрения можно сделать вывод, что большое количество устройств плавного пуска устанавливается в системы энергоснабжения недостаточной для прямого пуска мощностью. Это касается вновь вводимых в устаревшую систему энергоснабжения объектов. При этом главным критерием является снижение пусковых токов и удержание посадки

Таблица 3

География внедрения систем плавного пуска
ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы»

Объекты внедрения	Заказчики устройств плавного пуска
Турбокомпрессоры 1600–3200 кВт	УГМК, Высокогорский горно-обогатительный комбинат, «Сухоложскцемент», Таджикский алюминиевый завод
Погружные насосы 250 кВт	Уральская горно-металлургическая компания
Дымососы 800–1700 кВт	Северский трубный завод, Чусовской металлургический комбинат, Серовский металлургический комбинат, «Буммаш»
Центробежные насосы 630–3500 кВт	Транснефть, Магнитогорский металлургический комбинат, «Саутс-Ойл» (Казахстан), ОМК–Сталь, Экибастузская ГРЭС, «Полос-Золото»
Плунжерные насосы 800 кВт	«ВСМПО-АВИСМА»
Аглоксгаустеры 4000 кВт	Новолипецкий металлургический комбинат
Синхронные компенсаторы 500–1000 кВт	Сибирская сервисная компания

напряжения на секциях шин в пределах допустимого ГОСТ 10%-ного уровня [7]. 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 соответствуют предъявляемым требованиям, положительно зарекомендовали себя в эксплуатации и являются надежными и конкурентоспособными изделиями в данном сегменте рынка.

Библиографический список

1. Шубенко В.А., Браславский И.Я. Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением. М.: Энергия, 1972. 232 с.
2. Ткачук А.А., Силуков А.Ю., Кривовяз В.К. Опыт применения преобразователя типа ПАД-В для плавного пуска высоковольтных двигателей // Проблемы и достижения в промышленной энергетике: сб. докл. науч.-практ. конф. Екатеринбург: Уральские выставки, 2006. С. 122–125.
3. Ткачук А.А., Копырин В.С. Групповой плавный пуск высоковольтных синхронных электроприводов компрессорных станций // Электротехнический рынок. 2007. № 12. С. 22–24.
4. Плавный пуск группы высоковольтных асинхронных электроприводов центробежных механизмов / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз, В.С. Копырин, А.Ю. Силуков // Силовая электроника. 2008. № 2. С. 16–19.
5. Ткачук А.А., Кривовяз В.К. Серия высоковольтных преобразователей для плавного пуска мощных электроприводов // Известия ТулГУ. Техн. науки. Вып. 3: в 5 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. Ч. 2. С. 36–39.
6. Высоковольтные тиристорные преобразователи в системах плавного пуска электроприводов / А.А. Ткачук, А.Ю. Силуков, А.А. Шелгачев, В.В. Епифанов // Сб. науч. тр. 7-й Междунар. (19-й Всерос.) конф. по автоматизир. электроприводу АЭП-2014. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. С. 467–472.
7. Ткачук А.А. Электромагнитная совместимость тиристорных преобразователей напряжения в системах плавного пуска высоковольтных электроприводов // Электроприводы переменного тока: сб. науч. тр. 16-й Междунар. НТК. Екатеринбург: Изд-во Урал. федер. ун-та им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2015. С. 63–66.