

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ С ИНВЕРТОРОМ ТОКА ДЛЯ ПЛАВНОГО ПУСКА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Ткачук Андрей Александрович,

главный конструктор по высоковольтной преобразовательной технике,
кандидат технических наук, ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы»,
Екатеринбург, e-mail: tkachuk@asc-ural.ru

Шилин Сергей Иванович,

начальник научно-инженерного центра, кандидат технических наук,
ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы», Екатеринбург,
e-mail: shilin@asc-ural.ru

FREQUENCY CONVERTER WITH CURRENT INVERTER FOR SOFT START OF HIGH-VOLTAGE SYNCHRONOUS DRIVES

Tkachuk Andrey Aleksandrovich,

Chief Designer for High-voltage Converter Equipment, Ph.D. in technical sciences,
CJSC «Automated Systems and Complexes», Ekaterinburg, e-mail: tkachuk@asc-ural.ru

Shilin Sergey Ivanovich,

Chief Officer of Engineering Research Centre, Ph.D. in technical sciences,
CJSC «Automated Systems and Complexes», Ekaterinburg, e-mail: shilin@asc-ural.ru

Аннотация. В докладе приведены результаты разработки и внедрения высоковольтного тиристорного преобразователя частоты для плавного пуска шаровой мельницы мощностью 2 МВт.

Abstract. The report encompasses the results of design and implementation of a high-voltage thyristor frequency converter for soft start of a ball mill (2 MW capacity).

Ключевые слова. Тиристорный преобразователь частоты, высоковольтный, синхронный электропривод, шаровая мельница.

Key words. Thyristor frequency converter, high-voltage, synchronous electric drive, ball mill.

Во многих отраслях промышленности: горно-обогатительной, цементной, металлургической и ряде других, наибольшее распространение находит нерегулируемый по скорости электропривод (ЭП) переменного тока [1]. Самыми энергоёмкими технологическими процессами являются процессы дробления, измельчения, фильтрации, перекачивания и компрессии, доля расхода электроэнергии электроприводами которых составляет 90% общего потребления предприятия.

Ответственным режимом нерегулируемых ЭП является пуск их в работу. Это особенно актуально при пуске высоковольтных синхронных электроприводов с номинальным напряжением 3, 6 или 10 кВ. Электрические машины такого класса напряжения являются достаточно энергоёмкими объектами. Зачастую мощность единичного двигателя соизмерима с мощностью питающей сети. Прямой пуск синхронных ЭП от сети, особенно с нагруженными механизмами имеющие большой момент инерции и начального статического сопротивления, обладает рядом известных недостатков. При пуске возникают значительные по величине и продолжительные по времени токи и удары момента на валу. Частые прямые пуски негативно сказываются на системе электроснабжения и значительно снижают ресурс технологического оборудования. Поэтому ограничение величины пусковых токов и моментов, обеспечение плавного пуска, рационализация графика включения и отключения синхронных высоковольтных электроприводов является весьма актуальной задачей.

Синхронные ЭП по характеру нагрузки можно разделить на две большие группы. К первой группе относятся ЭП с механизмами имеющие квадратичную зависимость момента статического сопротивления от скорости вращения. Это так называемые механизмы центробежного принципа действия: насосы, вентиляторы, турбокомпрессоры, дымососы, эксгаустеры и т.п. Ко второй группе относятся ЭП с механизмами имеющие постоянный момент статического сопротивления или слабо зависящий от скорости вращения. Например, такими механизмами являются: барабанные мельницы, дробилки, трубные печи, конвейеры, шнековые питатели, поршневые насосы и т.п. Характерным представителем механизмов с тяжёлыми условиями пуска являются барабанные мельницы, у которых в качестве мелющих средств применяются чугунные шары или стержни. Характер движения шаров в мельнице определяется скоростью вращения барабана. В начале трогания момент может быть равен моменту при установившемся режиме или превышать его на 20-30% [2].

Для первой группы электроприводов ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы» разработаны и серийно производятся устройства плавного пуска (УПП) на базе высоковольтного тиристорного преобразователя напряжения типа ПАД-В и ПСД-В [3]. Шкала таких УПП охватывает практически весь диапазон мощностей от 0,2 до 12 МВт и номинальных напряжений от 3 до 10 кВ применяемых в промышленности электроприводов. Однако известно, что устройства плавного пуска, выполненные на базе ТПН, не могут обеспечить удовлетворительного пуска двигателя с полной нагрузкой при номинальном токе. Они обеспечивают лучшую экономическую эффективность при плавном пуске механизмов центробежного принципа действия.

Для удовлетворения требуемых характеристик пуска ЭП второй группы с технической и экономической сторон целесообразно применение тиристорного преобразователя частоты (ТПЧ), выполненного по структуре: управляемый выпрямитель – автономный инвертор тока. Это известная классическая схема, полностью реализованная на однооперационных тиристорах [4]. Она состоит из мостового выпрямителя, сглаживающего дросселя и мостового инвертора с естественной коммутацией тиристоров. В отличие от высоковольтного ПЧ на базе автономного инвертора напряжения преобразователи с инвертором тока проще, дешевле и надёжнее. При частотно-регулируемом пуске достигается линейное и плавное нарастание скорости вращения вала СД и механизма до номинальной скорости. Способ регулирования основан на изменении частоты и амплитуды тока на статоре синхронного двигателя в процессе разгона в функции стабилизации электромагнитного момента. Вследствие чего при номинальной нагрузке ток СД не превышает 1,2 номинального тока.

Постоянная потребность в устройствах плавного пуска высоковольтных ЭП, выполненных на базе тиристорных преобразователей частоты, 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 частотно-регулируемого плавного пуска СД. К наиболее популярным производителям оборудования относятся: ОАО «ВНИИР», ООО «ЧЭАЗ-ЭЛПРИ» (г. Чебоксары), ОАО «Электровыпрямитель» (г. Саранск) и ряд других.

Изучение и анализ технических характеристик электротехнического оборудования для реализации систем частотно-регулируемого плавного пуска различных фирм показал, что они в основном аналогичны и соответствуют современному уровню схемотехники подобного класса устройств. Учитывая регулярный спрос и интерес со стороны потенциальных заказчиков, ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы» разработан, изготовлен и внедрён на цементном заводе синхронный электропривод шаровой мельницы мощностью 2 МВт с частотным преобразователем на базе автономного инвертора тока типа ПЧСД-В-Г-250-6к-4 в контейнерном исполнении. В табл. 1 приведены его основные технические характеристики.

Таблица 1 – Технические характеристики ПЧСД-В-Г-250-6к-4.

| № п/п | Наименование параметра | Значение |
|-------|---|----------------|
| 1 | Номинальное напряжение силовой питающей сети, кВ | 6 |
| 2 | Допустимое отклонение напряжения питания, % | ± 15 |
| 3 | Номинальное значение входного и выходного тока, А | 250 |
| 4 | Максимально допустимый пусковой ток (5 мин.), А | 300 |
| 5 | Количество поочередно запускаемых двигателей | 4 |
| 6 | Перерыв между пусками с максимальным током, мин | 5 |
| 7 | Ток термической стойкости (не более 3 секунд), кА | 10 |
| 8 | Диапазон регулирования выходного тока, % | 0 – 100 |
| 9 | Диапазон регулирования выходной частоты, Гц | 0 – 60 |
| 10 | Пределы регулирования времени пуска, с | 5 – 300 |
| 11 | Габаритные размеры без ЯВД (ВхШхГ), мм | 2350x4000x1000 |
| 12 | Масса (не более), т | 3,7 |

Преобразователь типа ПЧСД-В-Г для группового частотно-регулируемого плавного пуска СД, созданный ЗАО «АСК», структурно и по техническим характеристикам соответствует аналогичным. Однако есть и некоторые отличительные особенности. Меньшие массогабаритные показатели и стоимость. Используется силовая полупроводниковая, защитная и коммутационная элементная база преимущественно российских предприятий. Оригинальный алгоритм калибровки датчика положения ротора СД обеспечивает простоту наладки и настройку на механизмы с различными характеристиками. Это достигнуто благодаря гармоничному сочетанию науки, разработки и производства, высокому уровню организации и стратегическому направлению ЗАО «АСК» на развитие отечественной техники и технологий.

На рис. 1 приведена схема подключения ПЧСД-В-Г в систему электроснабжения шаровой мельницы. Конструктивно преобразователь состоит из пяти основных шкафов. Количество ячеек выбора двигателя (ЯВД) определяется количеством поочередно запускаемых двигателей в системе группового плавного пуска. В изображённой схеме запускаются четыре двигателя. В шкафу управления (ШУ) сосредоточена информационная низковольтная электроника, составляющая основу системы управления, реле, клеммы для подключения внешних кабелей и графическая сенсорная панель, которая обеспечивает удобный человеко-машинный интерфейс. Система управления построена по принципу распределённой вычислительной сети и содержит несколько микроконтроллеров и ПЛИСов. В шкафу с токоограничивающими реакторами (ШТР) размещены три воздушных реактора L1-L3 необходимые для улучшения электромагнитной совместимостью с питающей сетью, коммутации тиристоров и ограничения токов короткого замыкания в случае аварийных процессов. Также ШТР содержит быстродействующий вакуумный контактор КМ1 обеспечивающий режим байпаса при достижении номинальной скорости СД. После включается штатная ячейка двигателя, а КМ1 выключается. Шкафы управляемого выпрямителя (ШУВ) и инвертора тока (ШИТ) идентичны друг другу и состоят из унифицированных тиристорных блоков типа СТВ-250-6к-1. Каждый блок содержит по четыре последовательно соединённых тиристора, защитные RC-цепи и оптоволоконные драйверы. Блоки легко извлекаются из шкафа посредством специальных салазок, что значительно повышает ремонтпригодность изделия в целом. Также шкафы имеют датчики тока и напряжения, которые соединяются через волоконно-оптическую линию связи с системой управления в ШУ. Шкаф сглаживающих дросселей (ШСДР) содержит два расположенных друг над другом воздушных реактора. Для увеличения взаимной индуктивности реализуется согласованное включение.

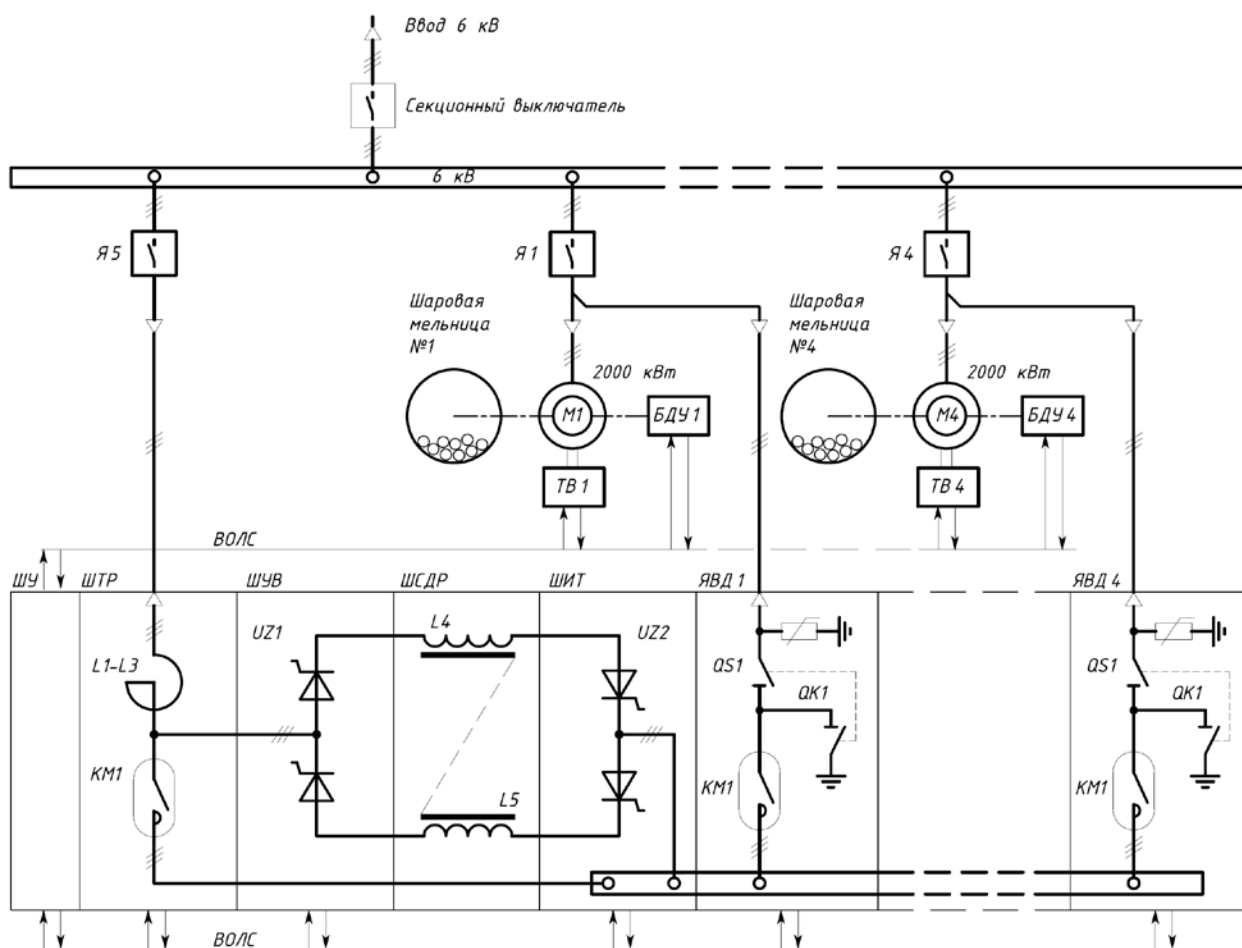


Рисунок 1 – Схема плавного частотно-регулируемого пуска группы синхронных электроприводов шаровых мельниц.

Управление тиристорными возбудителями (ТВ) и сбор информации с блоков датчиков угла (БДУ) система управления осуществляет посредством волоконно-оптической линии связи (ВОЛС). Территориально возбудители, датчики и преобразователь могут быть на значительном расстоянии друг от друга. В условиях сильного электромагнитного фона генерируемого преобразователем, ВОЛС обеспечивает высокую помехозащищённость информации на любом удалении от источника.

Специалистами ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы» накоплен значительный опыт в разработке, производстве, внедрении и наладке высоковольтных систем частотно-регулируемого плавного пуска на базе тиристорного инвертора тока. Системы в полной мере соответствуют предъявляемым требованиям, положительно зарекомендовали себя в эксплуатации и являются надёжными и конкурентоспособными изделиями в данном сегменте рынка.

Список использованных источников

1. Справочник электроэнергетика предприятий цветной металлургии / Под ред. М.Я. Басалыгина, В.С. Копырина. – М.: Металлургия, 1991. – 384 с.
2. Андреев С.Е., Петров В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
3. Ткачук А.А. Высоковольтные тиристорные преобразователи в системах плавного пуска общепромышленных механизмов. – В сб. докл. 4-й междунар. науч.-практ. конф. «ЭСКИЭ-04». – Екатеринбург, 2015. – С. 133–136.
4. Виницкий Ю.Д., Гельфанд Я.С., Сытин А.П. Тиристорные пусковые устройства в электроэнергетике. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 256 с.