

## Пуск шаровых мельниц

В октябре 2004 г. «АО Ансальдо-ВЭИ» ввело в промышленную эксплуатацию первое в России тиристорное пусковое устройство (ТПУ) для плавного частотного пуска четырех шаровых цементных мельниц ОАО «Липецкцемент».

Электропривод мельниц осуществляется синхронными двигателями СДМ-15-64 мощностью 2000 кВт с номинальным напряжением 6 кВ и номинальным током 223 А. Номинальная частота вращения ротора - 1000 об/мин. Однолинейная электрическая схема ТПУ и электроприводов цементных мельниц отделения помола цемента (с указанием обменных сигналов) приведена на рис.1.

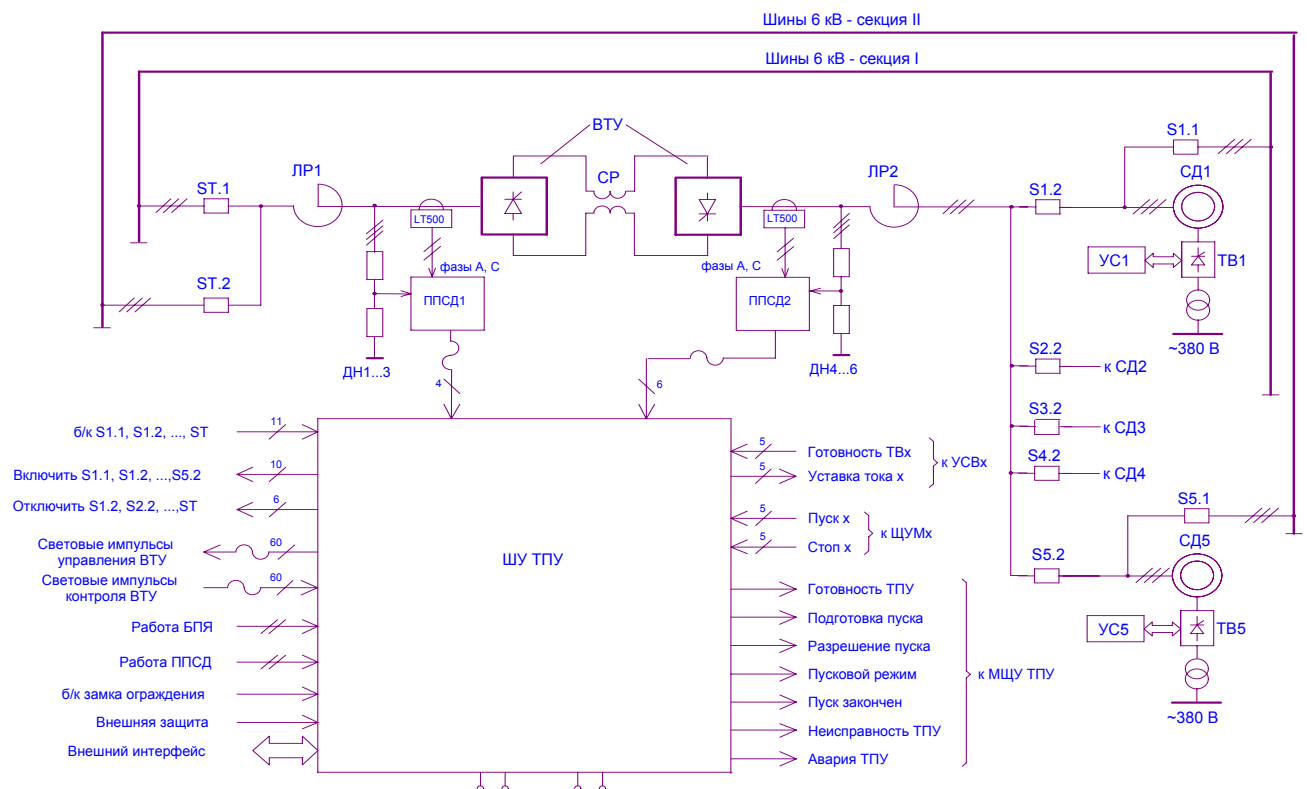


Рис.1. Однолинейная электрическая схема ТПУ-6/2000-5 и электроприводов

ТПУ реализовано по бестрансформаторной схеме выпрямитель-инвертор с звеном постоянного тока и содержит: токоограничивающие реакторы ЛР1, ЛР2, шестипульсные тиристорные преобразователи ВТУ и сдвоенный сглаживающий реактор СР. Остальные элементы схемы: коммутационная аппаратура - вводные выключатели ST.1 и ST.2, пусковые выключатели S1.2, S2.2...S5.2, выключатели сеть-двигатель S1.1, S2.1...S5.1, синхронные двигатели - СД1...СД5, возбудители - ТВ1..ТВ5, аппаратура управления - делители напряжения ДН1...ДН3, ДН4..ДН6, преобразователи тока LT500, преобразователи напряжений и токов в световые кодированные сигналы ППСД1 и ППСД2, устройства связи с возбудителями УС1...УС5, шкаф системы управления ШУ ТПУ.

### Технические характеристики пуска

- Количество пусков - до 5 пусков подряд с интервалами между пусками не менее 3 мин. с последующей паузой не менее 1 часа.
- Длительность пуска - не более 40 сек при пусковом токе 220А.

### Трогание двигателя и переход в режим непрерывных токов

На рис.2. приведены осциллограммы начального периода пуска в режиме искусственной коммутации тиристоров инвертора (режим прерывистых токов РПТ) до перехода в режим естественной коммутации (режим непрерывных токов РНТ). На верхней осциллограмме приведено линейное напряжение АВ статора двигателя  $U_{ab\_inv}$  и напряжение системы фазовой автоподстройки частоты ФАПЧ  $U_{sync\_iAB}$ , используемое для синхронизации всех процессов в системе. На нижней осциллограмме приведены токи фаз инвертора (они же токи фаз двигателя). В процессе пуска регулятор системы поддерживает этот ток на заданном уровне (на осциллограмме 180 А). По осциллограмме видно, что переход в режим непрерывных токов произошел после трех периодов работы инвертора (1 оборот ротора двигателя) при частоте вращения поля статора  $\sim 5$ Гц.

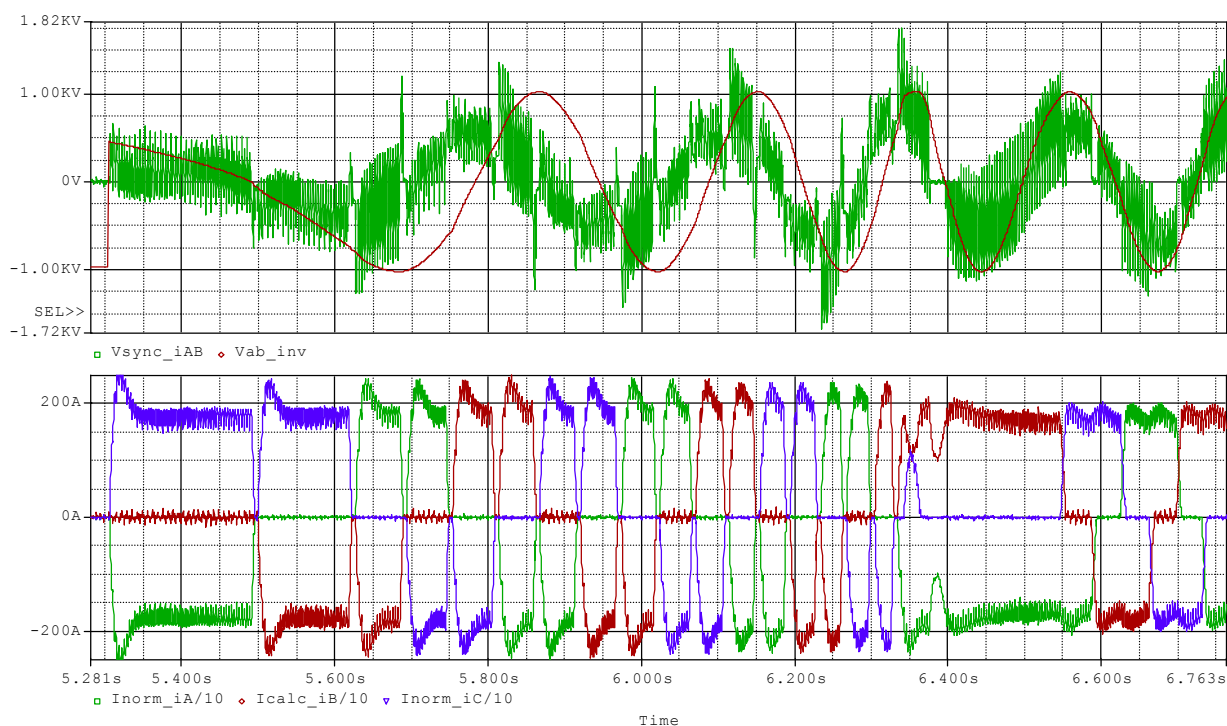


Рис.2. Переход из РПТ в РНТ

### Разгон двигателя до синхронной скорости

Разгон двигателя производился по заданной тахограмме пуска под управлением регулятора скорости, реализующего эту тахограмму. Тахограмма задается программно, ее вид может быть задан Заказчиком, исходя из требований к процессу пуска. Тахограмма определяет время пуска. При этом пусковой ток будет зависеть только от нагрузки двигателя, а время пуска во всех случаях останется неизменным. В проекте для ОАО

«Липецкцемент» была выбрана тахограмма, обеспечивающая равномерную скорость нарастания частоты ротора. На рис.3. приведены осциллограммы процесса пуска от момента включения выключателя Sx.2 до включения выключателя Sx.1. На осциллограммах показаны: амплитуда линейного напряжения АВ статора двигателя  $U_{sync\_iAB}$ , ток в звене постоянного тока преобразователя  $Id\_rec/10$ , частота вращения поля статора  $Afapchi\_freq/10$ .

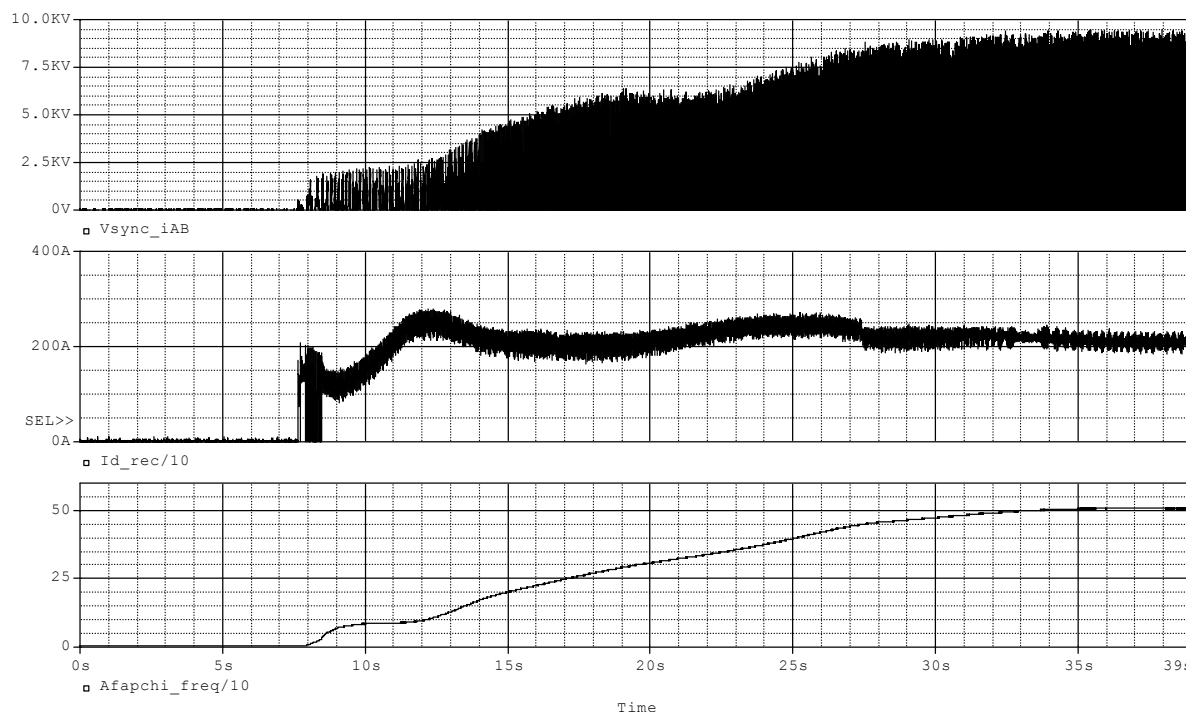


Рис.3. Осциллограммы пускового режима

#### Переключение двигателя на работу от сети при работающем инверторе

Наличие в схеме ТПУ реактора ЛР2, ограничивающего воздействия на ВТУ со стороны сети при коммутациях вентилей инвертора, позволило подключать синхронизированный двигатель к сети без предварительного отключения ТПУ (а не на выбеге, как для компрессоров). При этом до отключения ТПУ выключателем Sx.2 ( $x=1,2...5$ ) двигатель питается одновременно от сети и ТПУ. На осциллограммах рис. 4 показана стадия переключения двигателя на сеть при работающем инверторе. Здесь сверху вниз приведены сигналы: команда на включение выключателя двигателя, б/к этого выключателя, токи фаз инвертора, напряжения сети (гладкое) и напряжение инвертора фазы АВ (с коммутационными искажениями). Видно, что начиная с момента замыкания силовых контактов выключателя двигателя токи инвертора изменяются, а напряжение инвертора начинает совпадать с напряжением сети.

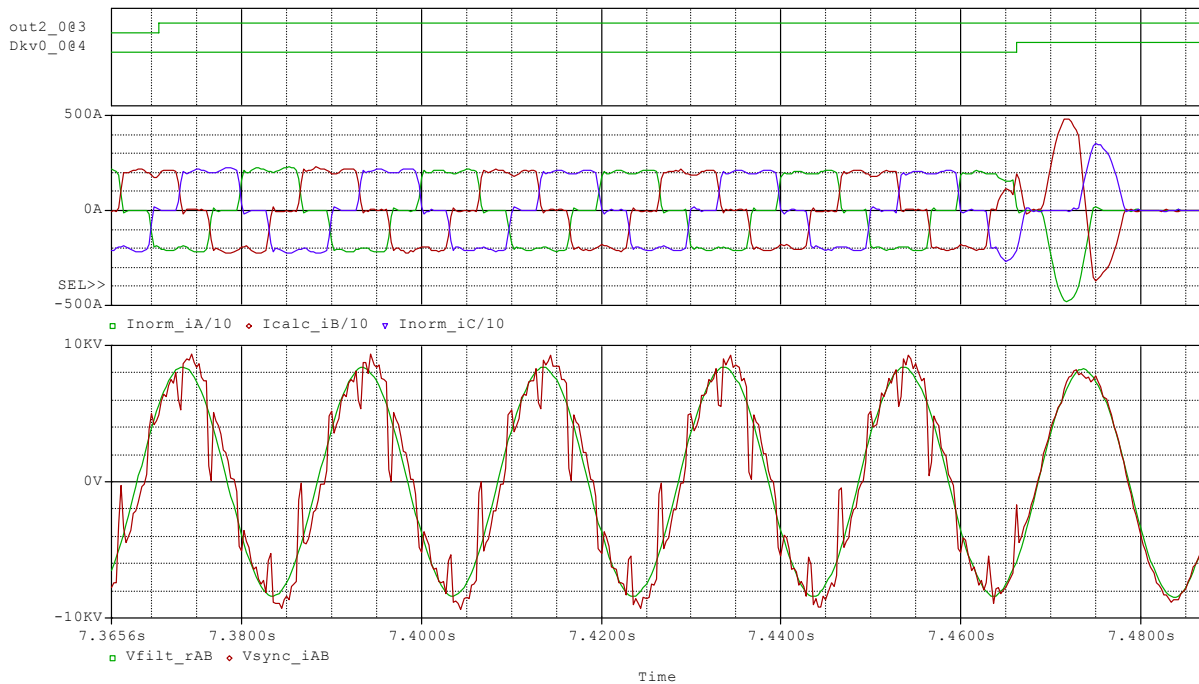


Рис.4. Переключение двигателя на работу от сети при работающем инверторе.

Внедрение ТПУ обеспечило существенное снижение ударных нагрузок на двигатель и редуктор по сравнению с прямым пуском, при котором ток статора в 10 раз превышает номинальное значение, также были устранены сопровождающие прямой пуск посадки напряжения на питающих шинах. Весь цикл пуско-наладочных работ и прямо-сдаточных испытаний составил 7 рабочих дней.

Управление ТПУ осуществляется дистанционно от местного пульта управления, расположенного в 150 м от ТПУ в помещении оператора цементных мельниц. Оборудование ТПУ выполнено в виде трех шкафов: высоковольтное преобразовательное устройство, блок токоограничивающих и сглаживающих реакторов и шкаф управления. Общий вид установки ТПУ показан на рис.5.



Рис.2.

#### Литература:

Добкин И.Д., Таратута И.П., Чуприков В.С. Тиристорное пусковое устройство для синхронных двигателей 3150 кВт 10 кВ. // Сборник докладов VI симпозиума "Электротехника 2010 год", том II. Москва, октябрь 2001 г.

Таратута И.П., Чуприков В.С. Схемотехнические и конструктивные решения преобразователей частоты для регулируемого электропривода. // "Электротехника", N9, 2001г.