

Пуск компрессоров

Пуск компрессоров при помощи тиристорного пускового устройства (ТПУ) был осуществлен в 2001 году на компрессорной станции Кузнецкого завода тяжелых штамповок (КЗТШ) в г.Жодино, Республика Беларусь. Применение ТПУ обеспечило поочередный плавный частотный пуск 5-ти частично нагруженных синхронных электродвигателей типа СТД-3150-23УХЛ4 (3,15 МВт) и СТД-1600-23УХЛ4 (1,6 МВт) с номинальным напряжением 10 кВ.

На рис. 1 представлена схема объекта, расположение датчиков и каналы связи объекта с системой управления.

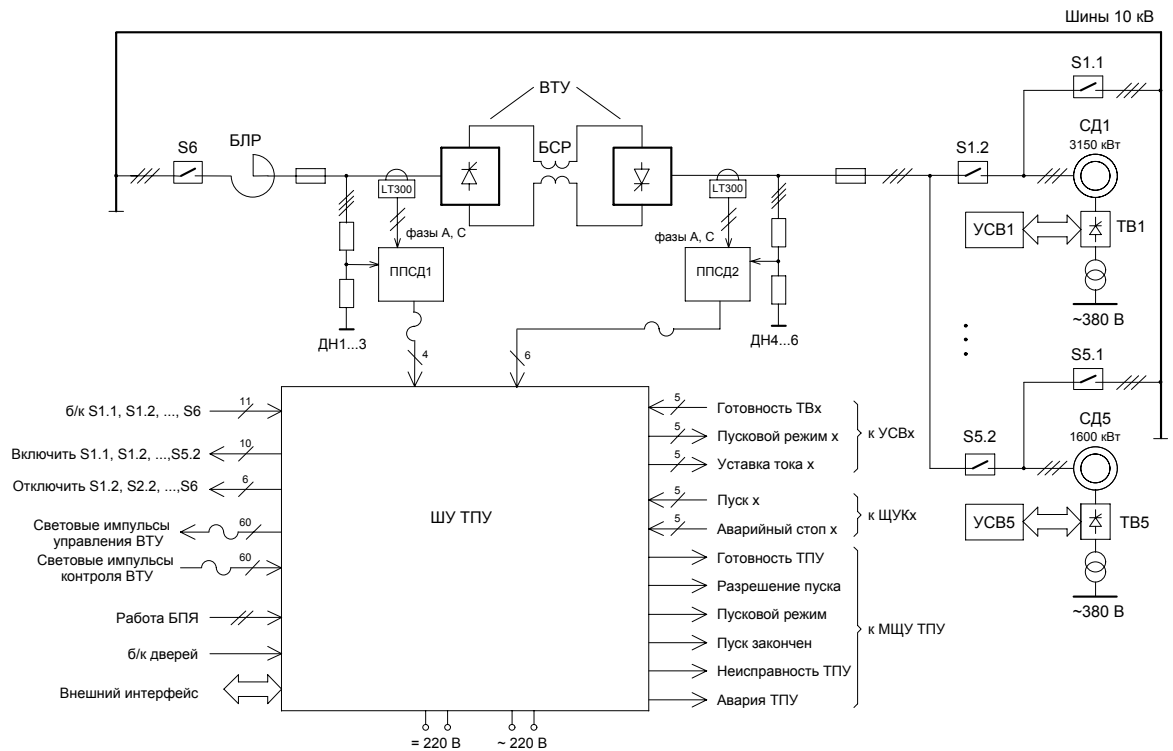


Рис.1. Функциональная схема объекта и подключения системы управления

На схеме обозначено:

- БЛР - силовой блок линейных реакторов;
- БСР - силовой блок сглаживающих реакторов;
- ВТУ - высоковольтное тиристорное устройство;
- СД1...СД5 – синхронные двигатели;
- ТВ1...ТВ5 – тиристорные возбудители двигателей;
- УСВ1...УСВ5 – устройства связи с возбудителями;
- S1.1...S1.5 - сетевые выключатели двигателей;
- S2.1...S2.5 - пусковые выключатели двигателей;
- S6 - сетевой выключатель ТПУ.

На схеме показаны также датчики тока (LT300) и резистивные делители напряжения, служащие для получения информации о напряжении сети и двигателя. Рядом с делителями напряжения в силовой схеме устанавливаются платы преобразования сигналов датчиков (ППСД), которые преобразуют сигналы тока и напряжения в цифровую форму и передают их волоконно-оптическим световодам в шкаф управления ШУ ТПУ.

Управление тиристорами ВТУ осуществляется через плату светового управления ПСУ, размещенную в ШУ ТПУ. ПСУ совместно с ячейками управления тиристорами, расположенными в силовой схеме вентиля, реализует алгоритм следящего управления тиристорами и контроль их исправности. Обмен информацией между ПСУ и ячейками управления осуществляется по волоконно-оптическим световодам.

Система регулирования ТПУ содержит 3 связанные между собой регулятора:

- на выпрямителе - регулятор постоянного тока;
- на инверторе - регулятор угла погасания с регулятором минимального тока;
- на возбудителе - регулятор напряжения статора (уставка напряжения пропорциональна частоте вращения синхронной машины).

Питание шкафа управления осуществляется по двум фидерам от цепей переменного и постоянного тока объекта ($\sim 220\text{В}$ и $=220\text{В}$). В шкафу организовано гарантированное питание всех плат системы управления.

Особенности системы управления

Отличительными особенностями данной системы управления частотным пуском являются:

- синхронизация работы инвертора и двигателя без использования датчика положения ротора при помощи системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ),
- применение двухступенчатых резистивных делителей для измерения напряжения инвертора,
- использование ФАПЧ для синхронизации двигателя с сетью,
- оригинальное построение системы фазоимпульсного преобразования (ФИП),
- специальное управление сетевым выключателем двигателя при его переключении на сеть,
- использование встроенного цифрового осциллографа для оптимизации процессов пуска двигателя при пуско-наладочных работах.

Важнейшей задачей при пуске двигателя является отслеживание фазы и частоты напряжения статора двигателя для правильного управления преобразователем как в прерывистом, так и в непрерывном режимах его работы. В рассматриваемой системе для этого используются фаза и частота ФАПЧ, работающего по сигналам делителей напряжения, подключенных к статору двигателя (выходу инвертора). Для получения

приемлемого уровня сигналов линейных напряжений как на малых, так и на больших оборотах двигателя, используются каналы измерения напряжения с разными коэффициентами передачи.

Начальное положение ротора система управления определяет по реакции статора на скачок тока возбуждения. При разгоне и вплоть до подключения двигателя к сети положение ротора оценивается по напряжениям, формируемым системой ФАПЧ. Постоянные времени ФАПЧ выбраны таким образом, что обеспечивается достаточная точность воспроизведения фазы и частоты напряжения на статоре двигателя в диапазоне частот разгоняемого двигателя от 0,5 Гц до 50 Гц и выше.

Синхронизация двигателя с сетью осуществляется без использования специального синхронизатора. Для этого в системе управления реализовано два канала ФАПЧ: по напряжениям выпрямителя и по напряжениям инвертора (напряжениям статора двигателя). Регулированием тока статора и тока возбуждения двигателя удается добиться совпадения частот и фаз ФАПЧ инвертора и ФАПЧ выпрямителя с погрешностью, не превышающей долей процента. Переключение на сеть осуществляется на выбеге двигателя при отклонении частоты, фазы и амплитуды напряжения двигателя от аналогичных параметров напряжения сети не более чем на 0,3%. Во время разгона двигателя регулирование его тока возбуждения производится от системы управления преобразователем через плату УСВ, устанавливаемую непосредственно в тиристорный возбудитель каждого двигателя. Передача уставки тока возбуждения от вычислительного блока в эту плату осуществляется по частотному каналу. После переключения на сеть плата УСВ отключается и система возбуждения переходит в штатный режим работы.

Для ускорения наладки системы управления и оптимизации процессов пуска двигателей с разными характеристиками широко использовались сервисные функции, заложенные в систему управления:

- возможность изменять через меню параметры пускового режима, уставки защит,
- выводить на дисплей токи, напряжения и частоту двигателя и т.п.,
- просматривать ведущийся в системе протокол, отражающий последовательность различных операций (успешные и неуспешные пуски, срабатывание защит, неисправности датчиков и другого оборудования и т.п.).

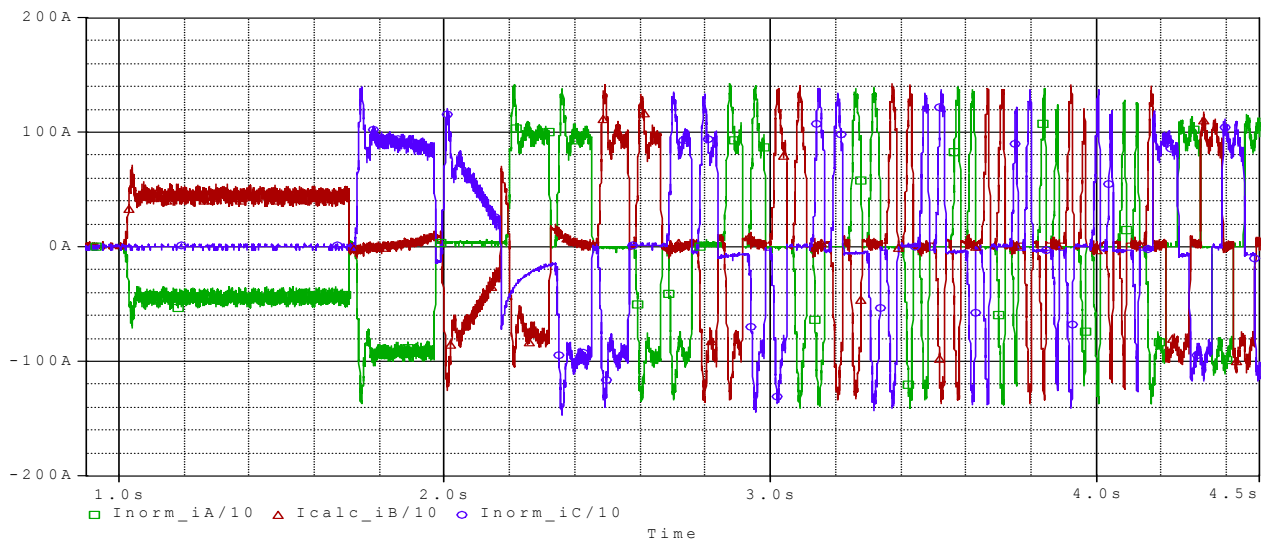
Благодаря наличию в системе управления специальных тестовых программ и цифрового осциллографирования с широкими возможностями, на компрессорной станции завода КЗТШ наладка пускового устройства и отработка режимов пуска двигателя 1-го компрессора была проведена за 2 дня, остальных 4-х двигателей – за 3 дня.

Ниже приведены осциллограммы, снятые при помощи встроенного в систему цифрового осциллографа, иллюстрирующие основные этапы пуска синхронного двигателя.

Режимы разгона

Работу ТПУ во время разгона двигателя можно условно разделить на несколько этапов: определение положения ротора, режим прерывистых токов, режим непрерывных токов, синхронизация двигателя с сетью, переключение на сеть.

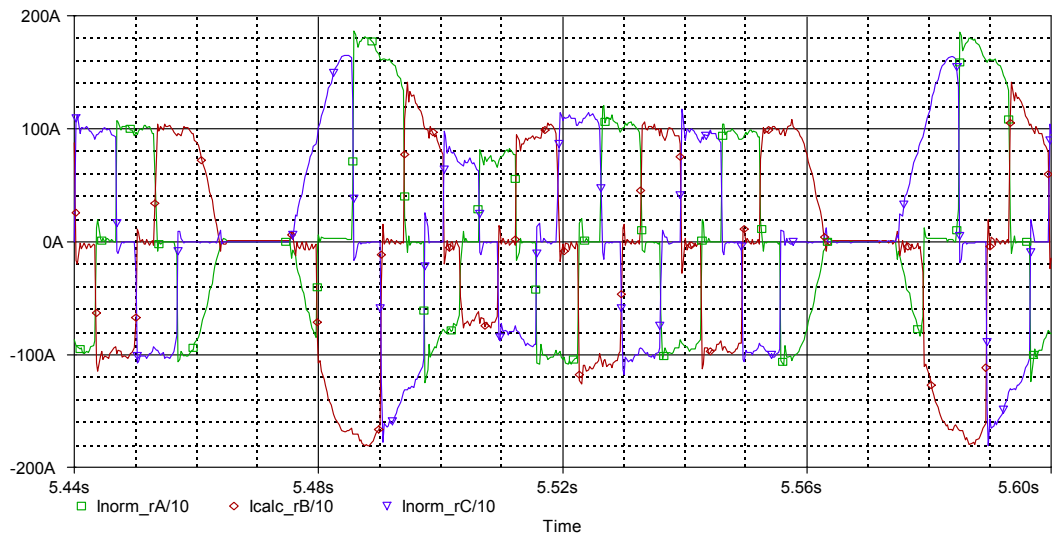
На осциллограмме 1 показаны измеренные нормированные ($I_{norm_iA}/10$, $I_{norm_iC}/10$) и вычисленный ($I_{calc_iB}/10$) токи фаз инвертора на начальном этапе разгона двигателя в режиме искусственной коммутации инвертора (до 4,15с) – режим прерывистых токов. Выбросы токов на фронтах вызваны работой регулятора тока выпрямителя и токами заряда R-C цепей выходящего из работы вентиля преобразователя.



Осциллограмма 1. Фазные токи инвертора в режиме прерывистых токов ТПУ

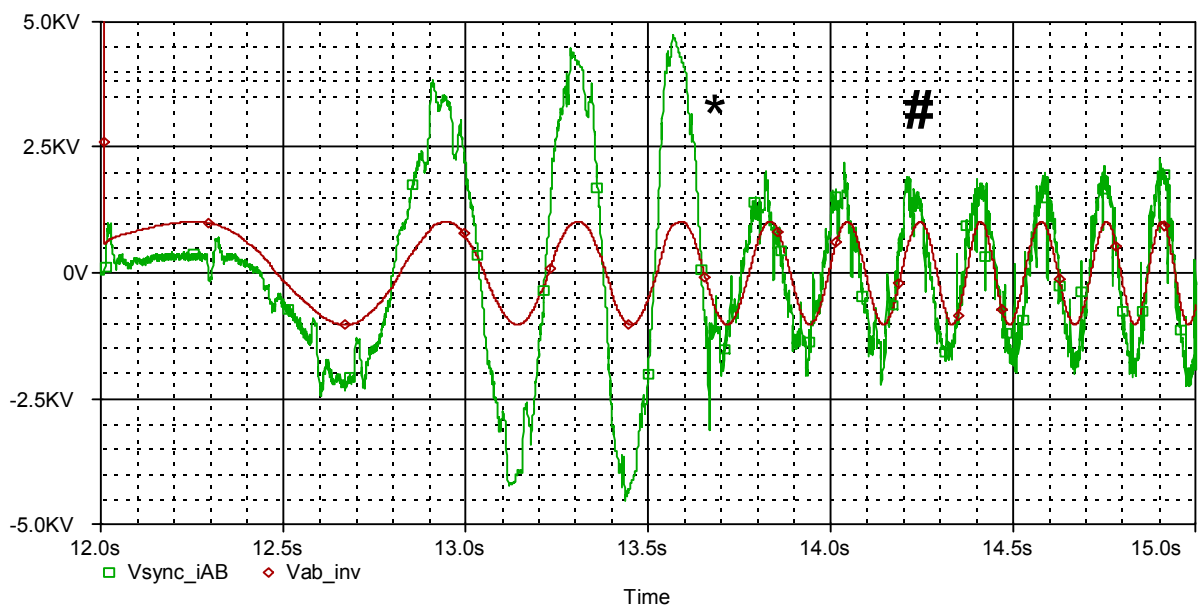
На осциллограмме видно увеличение частоты переключения фаз инвертора, связанное с увеличением частоты вращения двигателя, и переход в т.н. режим непрерывных токов (начиная с 4,15с), при котором коммутация тиристоров происходит под воздействием ЭДС статора двигателя. Для обеспечения минимальных ударных нагрузок на редуктор компрессора система управления имеет три различные уставки по току преобразователя: ток первого блока тока (на осциллограмме видно, что он - наименьший), ток в режиме прерывистых токов и ток в режиме непрерывных токов.

На осциллограмме 2 показаны измеренные нормированные ($I_{norm_rA}/10$, $I_{norm_rC}/10$) и вычисленный ($I_{calc_rB}/10$) токи фаз выпрямителя в режиме прерывистых токов. При выдаче очередного блока тока имеет место превышение тока над уставкой. Это превышение вызвано требованием быстрого нарастания тока при управлении тиристорами ВТУ узкими импульсами. По окончании каждого блока тока в прерывистом режиме выпрямитель переводится в инверторный режим и выпрямленный ток прекращается (см. осц. 2).



Осциллограмма 2. Фазные токи выпрямителя в режиме прерывистых токов ТПУ

Определяющую роль в работе системы управления играет подсистема фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), по напряжениям которой синхронизируется работа всей системы. На осциллограмме 3 показано напряжение фазы АВ инвертора, вырабатываемое системой ФАПЧ (U_{ab_inv}), и реальное напряжение на статоре (U_{sync_iAB}) на начальном этапе разгона двигателя. На осциллограмме символом * показан момент переключения каналов ППСД с разными коэффициентами передачи. Канал напряжений для низких оборотов двигателя имеет коэффициент передачи в 3 раза больше, чем канал напряжений для высоких оборотов. Символом # показан момент перехода ТПУ в режим непрерывных токов. На осциллограмме видно хорошее совпадение напряжений, вырабатываемых ФАПЧ, с реальным напряжением статора двигателя, начиная с момента начала движения ротора.

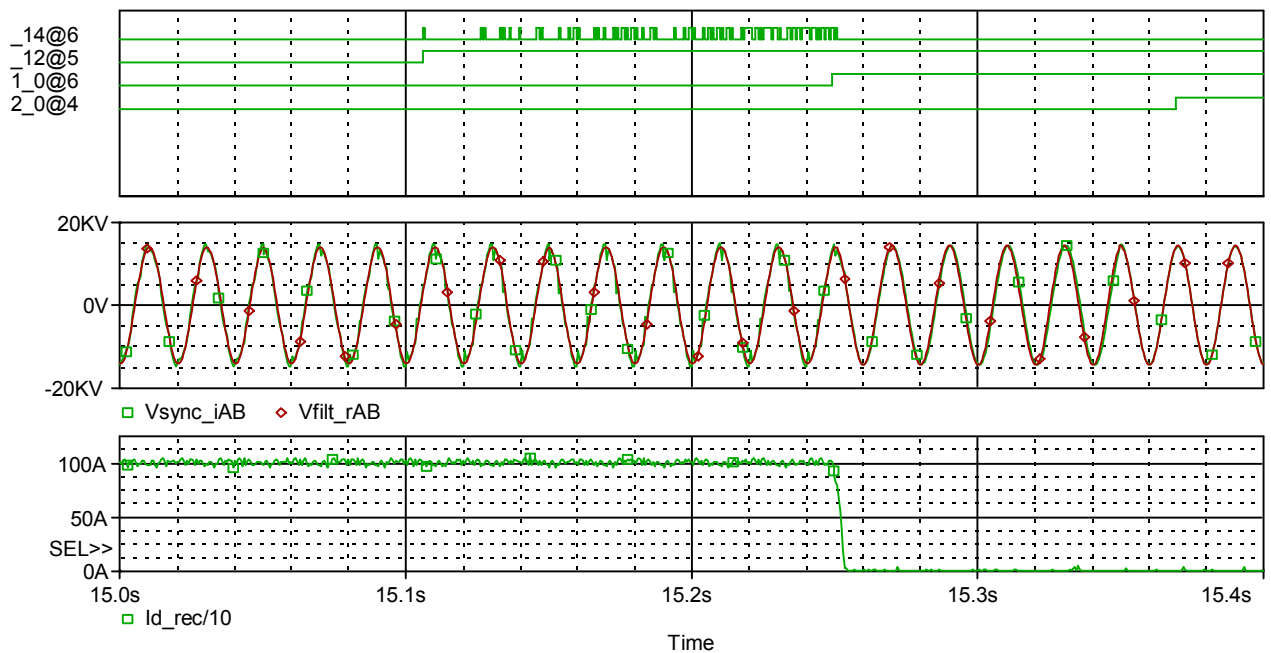


Осциллограмма 3. Работа устройства фазовой автоподстройки частоты

Переключение двигателя на сеть

На осциллограмме 4 приведены сигналы, отражающие процесс переключения двигателя на сеть:

- _14@6 - “Сеть и двигатель синхронизированы”,
 - _12@5- команда на включение рабочего выключателя,
 - 1_0@6 - команда ПИР - “Перевод выпрямителя в инверторный режим”,
 - 2_0@4 - сигнал, отражающий положение блок-контакта рабочего выключателя.
- U_{sync_iAB} и U_{filt_rAB} - напряжения инвертора и сети,
I_{d_rec}/10 - выпрямленный ток, рассчитанный по токам фаз выпрямителя.



Осциллограмма 4. Процесс подключения двигателя к сети

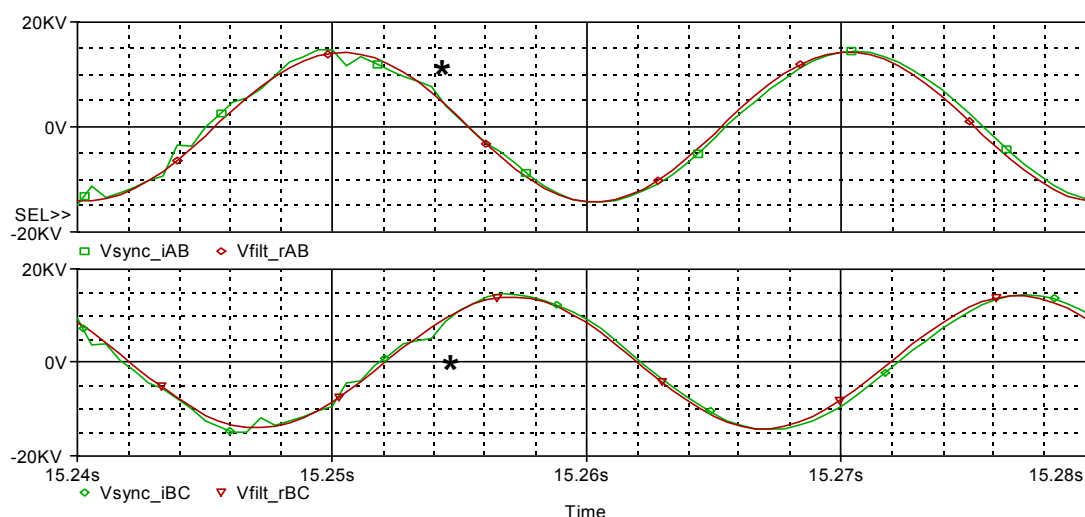
После разгона двигателя до частоты 50 Гц включается программа режима синхронизации, которая увеличивает скорость двигателя до частоты вращения 50,1 Гц. При совпадении фаз двигателя и сети с погрешностью, не превышающей 0,3%, вырабатывается сигнал “сеть и двигатель синхронизированы” и выдается команда на включение рабочего выключателя (_12@5). Отметим, что подача энергии от преобразователя к двигателю прекращается не в момент подачи команды на включение сетевого выключателя двигателя, а за 4-5 периода частоты сети до замыкания силовых контактов выключателя при подаче команды ПИР (1_0@6). По команде ПИР выпрямленный ток снижается до нуля и через несколько периодов происходит замыкание силовых контактов рабочего выключателя (сеть-двигатель), сопровождающееся выдачей сигнала от его блок-контактов (2_0@4). Такой алгоритм позволяет уменьшить время выбега двигателя с собственного времени отключения выключателя (~13 периодов частоты сети для масляного выключателя) до 4-5

периодов. Для каждого выключателя возможна установка своего времени задержки команды ПИР.

На осциллограмме 5 в увеличенном масштабе показаны напряжения фаз АВ и ВС инвертора (статора двигателя) и сети в момент включения рабочего выключателя. На напряжении инвертора до момента замыкания силовых контактов выключателя видны искажения, вызываемые коммутациями вентилей в преобразователе. Небольшое несовпадение фаз выпрямителя и инвертора после замыкания контактов выключателя вызвано неточной настройкой фильтров в трактах обработки этих сигналов.

В верхней части осциллограммы показаны напряжения инвертора и выпрямителя фазы АВ, в нижней части - фазы ВС. Символом * указан момент замыкания силовых контактов выключателя.

Как видно, из осциллограмм, при подключении двигателя к сети не происходит заметных изменений фазы или напряжения двигателя (зеленая линия), что является хорошим показателем работы системы управления.



Осциллограмма 5. Напряжения двигателя и сети при включении сетевого выключателя

Опыт внедрения ТПУ на КЗТШ подтвердил основные технические характеристики системы:

- Возможность пуска синхронного двигателя и его синхронизация с сетью без использования датчика положения ротора.
- Высокое качество сигналов от резистивных делителей и плат ППСД для получения сигналов напряжений и токов выпрямителя и инвертора.
- Пригодность синхронизации процессов управления преобразователем на основе системы фазовой автоподстройки частоты для режимов пуска синхронных двигателей с изменяющейся частотой напряжения статора и режима переключения двигателя на сеть.

- Простоту адаптации системы к реальному объекту благодаря широкому набору сервисных функций цифровой системы управления, что позволяет существенно сократить время, требуемое для пуско-наладочных работ.

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", №9, 2001г.

Красов Д.А., Кузьменко В.А., Мологин Д.С. Система управления тиристорным пусковым устройством синхронных двигателей. Привод и управление №1. 2002 г.