

В настоящее время в нашей стране находится много технологического оборудования, установленного в соответствии с проектами советского периода, с высоковольтными двигателями переменного тока, большинство из которых включается в работу прямым подключением к питающей сети: насосы, компрессоры, воздуходувки и т.д. Энергетикам известны аварийные процессы, возникающие в двигателях, приводных механизмах и питающих сетях во время пусков высоковольтных двигателей прямым включением в сеть.

ОПЫТ ПО РАЗРАБОТКЕ И ВНЕДРЕНИЮ СИСТЕМ ПЛАВНОГО ПУСКА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

М.И. АЛЬШУЛЛЕР

зав. отделом электропривода ООО «НПП «ЭКРА»

г. Чебоксары

Успехи силовой электроники и доступность полупроводниковой техники мировых производителей, таких как ABB Semiconductors, EUPEC, MITSUBISHI и др. на отечественном рынке обеспечили возможность создания мощных устройств плавного пуска.

С 2006 года НПП «ЭКРА» разрабатывает и выпускает серию устройств ШПТУ плавного пуска двигателей механизмов с вентиляторной механической характеристикой и синхронных двигателей механизмов с большим статическим моментом. При разработке пусковых устройств типа ШПТУ максимальное внимание уделяется надежности, комфортности и безопасности обслуживания, а также вопросам качества, информированности и мониторинга обслуживающего персонала о состоянии устройства и приводного механизма, возможности интеграции в АСУ ТП, легкой адаптации и настройки под необходимые технологические процессы.

Для обеспечения надежной работы системы плавного пуска СПП, энергетического оборудования, двигателей и запускаемых механизмов разработчики совместно с заказчиком должны провести большой объем работ при выборе пускового устройства.

В первую очередь проводится анализ существующей силовой схемы питания двигателей. Особое значение имеют данные об ударном токе короткого замыкания на шинах питания. Обычно выполняется условие $I_{к3} < I_{TSM}$, где $I_{к3}$ – амплитуда ударного тока короткого замыкания на шинах питания,

I_{TSM} – ударный неповторяющийся ток тиристоры в открытом состоянии в течение 10 мкс.

При $I_{к3} > I_{TSM}$ необходимо выбирать тиристоры по току короткого замыкания, или подключение устройства плавного пуска к сети выполнять через реактор.

Знание пусковой характеристики механизма (с учетом трения покоя) дает изготовителю возможность настроить пусковой режим ШПТУ таким образом, чтобы изменение момента нагрузки соответствовало изменению динамического момента двигателя с заданным током,

определить необходимость задания начального «толчка» момента для создания «масляного клина».

Для оптимального пуска механизма большое значение имеет правильный выбор двигателя. Желательно, чтобы пусковой момент был несколько выше номинального момента двигателя. У асинхронных двигателей он ниже или равен номинальному, а у синхронных двигателей средний момент в процессе пуска почти в 2 раза выше номинального (см. таблицу 1). Это дает возможность при плавном пуске значительно снизить кратность пускового тока.

Переходные процессы при прямом включении асинхронных или синхронных двигателей в питающую сеть характеризуются наличием в машинах значительного намагничивающего тока, которым нельзя пренебречь, т.к. он соизмерим с рабочим током в обмотках.

Токи статора i_1 и ротора i_2 можно рассматривать как сумму установившихся и свободных составляющих [1]:

$$i_1 = i_{1y} + i_{1св}, \quad i_2 = i_{2y} + i_{2св}$$

В первые моменты пуска в ход асинхронного двигателя в обмотках статора будут проходить три составляющие тока: периодический ток i_{1y} и аperiodические токи:

$$-\frac{i_0}{2} e^{-a_1 t} \quad \text{и} \quad \left(i_{1y} + \frac{i_0}{2} \right) e^{-a_2 t}.$$

В обмотках ротора также возникают три составляющие тока: периодический ток i_{2y} и аperiodические токи:

$$-\frac{i_0}{2} e^{-a_1 t} \quad \text{и} \quad \left(i_{1y} - \frac{i_0}{2} \right) e^{-a_2 t}.$$

Электромагнитное взаимодействие этих токов создает результирующий вращающий момент двигателя в начальный период пуска. Кроме того, возникают переходные вращающие моменты, ►

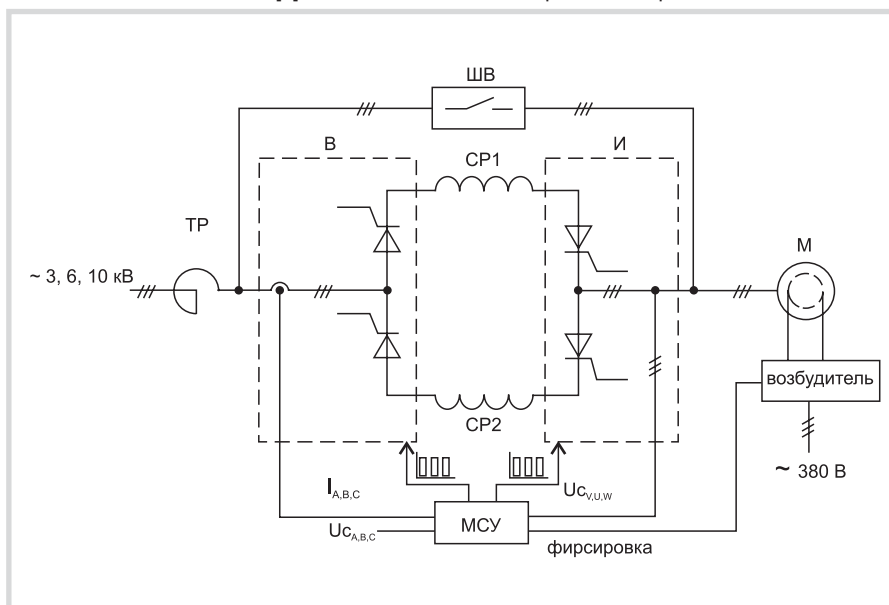


Рис. 1 Функциональная схема ШПТУ-ВИ

В, И – тиристорные выпрямитель и инвертор, ТР, CP1, CP2, токоограничивающий и сглаживающие реакторы, ШВ – шунтирующий выключатель, МСУ – микропроцессорная система управления

обусловленные свободными токами в обмотках статора и ротора: при вращении ротора с замкнутой обмоткой в поле, созданном свободным током $i_{1св}$ статора, создается тормозной момент; от взаимодействия тока $i_{2γ}$ с полем, созданным током $i_{1св}$, возникает пульсирующий знакопеременный момент. После затухания свободных токов в двигателе действует только статический вращающий момент.

Для двигателей, механизмов и соединительных муфт особую опасность представляют начальные ударные пусковые, достигающие 4-х кратного номинального момента, и знакопеременные моменты, которые действуют по принципу знакопеременного вибратора. Поэтому эксплуатационный персонал всегда стремится ограничить число прямых пусков мощных двигателей.

При пуске двигателя через реактор неприятели явления, возникающие в начальный период пуска, сохраняются, но несколько ограничивается величина моментов.

Устройство плавного пуска с цифровой системой управления (например, ШПТУ) позволяет ограничить величину плавного нарастающего пускового тока без свободной составляющей и исключить ударные и знакопеременные моменты.

ШПТУ, по сравнению с классическими преобразователями частоты при использовании их в качестве пусковых устройств, характеризуются низкой стоимостью и малыми габаритами, что важно при реконструкции действующих предприятий. Это обеспечивает минимальные сроки окупаемости при внедрении.

Система управления ШПТУ выполняется на базе цифровых сигнальных процессоров и позволяет обеспечить реализацию различных алгоритмов управления, организацию функции регистрации действующих и мгновенных значений параметров пуска, хранение аварийных и штатных событий. Система управления обеспечивает связь с драйверами управления и контроля силовых тиристоров, со схемами синхронизации и датчиками

Мощность, кВт	Тип	Кратность пускового вращающего момента	Кратность пускового тока
1600	4АЗМВ-1600	0,79	6,5
2500	4АЗМВ-2500	0,85	6,0
5000	4АЗМВ-5000	0,8	7,0
1600	СТД-1600-2Р	2,16	6,79
2500	СТД-2500-2Р	1,75	6,16
5000	СТД-5000-2Р	2,07	7,22

Табл. 1 Пусковые характеристики мощных синхронных и асинхронных двигателей напряжением 6 кВ

Конструктивные решения обеспечивают максимальную защиту обслуживающего персонала от несанкционированного доступа к токоведущим частям работающего устройства

силового напряжения через оптоволоконные развязки. Большие производительные возможности и быстродействующие периферийные блоки системы управления позволяют гибко перенастраиваться на другие эффективные алгоритмы плавного пуска с учётом особенностей приводного механизма и питающей энергосистемы. Надёжность пускового устройства существенно повышается за счёт специальной схемы управления формированием импульсов и контроля силовых тиристоров до и после пуска двигателя.

Система содержит встроенный пульт управления.

Реализуется широкий набор защит и сигнализаций.

Надёжность системы управления обеспечивается отработанной схемотехникой и применением высококачественной комплектации.

КОНСТРУКЦИЯ ШПТУ

В ШПТУ устанавливаются:

- тиристорные модули выкатного исполнения отдельно на каждую фазу сети;
- терминал микропроцессорной системы управления в кассетном исполнении;

- панель управления и индикации (встроенный пульт управления);
- релейная, коммутационная аппаратура, блоки питания цепей управления, клеммники внешних и внутренних подключений;
- шины главных силовых цепей с ограничителями перенапряжений, датчиком дуговой защиты и выводами для подключения внешних входов и выходов.

Модули располагаются в отдельных высоковольтных отсеках ШПТУ и подключаются к шинам устройства с помощью самоцентрирующихся силовых контактов.

Модуль имеет два фиксированных положения – рабочее и контрольное. В первом розетки соединителей модуля входят в контакт с токоведущими штырями соединителей силовой цепи шинного отсека, в контрольном положении обеспечивается отключение модуля от силовой цепи, при этом токоведущие штыри закрываются подвижной изолирующей шторкой.

ПУСКОВОЕ УСТРОЙСТВО ШПТУ-ВИ

Устройство предназначено для плавного частотного пуска синхронных двигателей технологического оборудования, ▶



Внешний вид пускового устройства ШПТУ

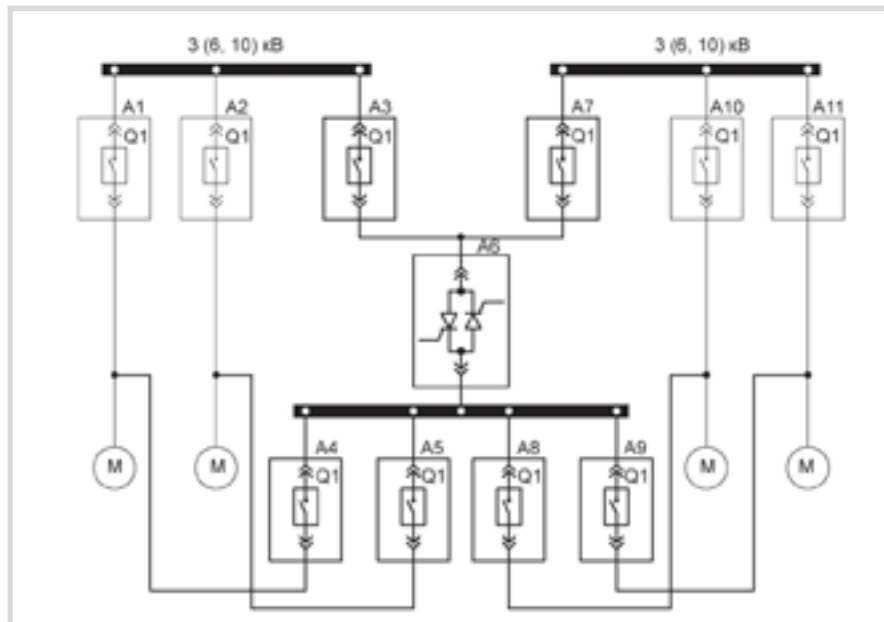


Рис. 2 Схема питания СПП от двух секций

характеризующегося тяжелыми условиями пуска (с большими моментами трогания, статическим и/или инерции).

Устройства выполнены по схеме со звеном постоянного тока и зависимым инвертором тока, ведомых по напряжению двигателя (рис. 1).

В шкафу выпрямителя ШПТУ-В установлена микропроцессорная система управления устройством.

Алгоритм управления ШПТУ-ВИ обеспечивает:

- определение исходного положения ротора двигателя с целью гарантированного пуска в заданном направлении вращения;
- плавный запуск двигателя до синхронной скорости вращения с пусковыми токами на уровне номинальных значений;
- синхронизацию двигателя с питающей сетью и безударное подключение его к питающей сети.

Устройство позволяет осуществлять рекуперативное торможение двигателя и кратковременно (до 5...10 мин) работать в диапазоне частот 3...50 Гц.

Составляющие части системы плавного пуска проходят комплексную программу испытаний и наладки.

Машинный агрегат напряжением 6 кВ позволяет производить настройку устройства ШПТУ при запуске асинхронного или синхронного двигателя и создавать момент нагрузки на валу при помощи машины постоянного тока.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПООЧЕРЕДНОГО ПЛАВНОГО ПУСКА НЕСКОЛЬКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА БАЗЕ ШПТУ ВКЛЮЧАЕТ:

- шкафы пусковые:
 - тиристорного устройства типа ШПТУ (преобразователь с фазовым управлением) или ШПТУ-ВИ (преобразователь частоты со звеном постоянного тока и зависимым инвертором тока)
 - контроллера управления типа ШПКУ (для пуска трех и более двигателей);

– коммутационной аппаратуры типа ШПКА с вакуумными выключателями или контакторами;

- реакторы токоограничивающий и сглаживающие (для ШПТУ-ВИ);
- автоматизированное рабочее место АРМ-энергетика (оператора) или пульт управления.

Дополнительно в состав СПП могут входить стандартные ячейки типа КРУ, КСО и др.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ СПП (АСМиУ) ПОСТРОЕНА ПО ИЕРАРХИЧЕСКОМУ ПРИНЦИПУ:

- верхний уровень: АРМ-энергетика;
- нижний уровень: терминалы ШПТУ и программируемые контроллеры ШПКУ;
- стандартные полевые (промышленные) и компьютерные сети для коммуникации устройств: Ethernet, RS485, RS232 и USB.

Основные функции АСМиУ:

- сбор информации с терминалов ШПТУ и контроллера ШПКУ;
- контроль состояния основных элементов СПП;
- организация журнала регистрации событий, тревог и действий оператора, ведение базы данных по СПП;
- просмотр в графическом виде и изменение пусковых уставок двигателей;
- просмотр и изменение параметров конфигурации СПП;
- предупредительная и аварийная сигнализация по СПП;
- организация исторических трендов пусковых токов и линейных напряжений;
- управление пуском двигателей;
- построение графиков, отчетов.

СПП может устанавливаться в распределительном устройстве РУ и в специализированном блок-боксе.

В реализованных проектах использованы схемы с различными вариантами количества пусковых устройств, двигателей, секций шин питания. В частности по схеме, изображенной на рисунке 2, выполнены проекты



для ООО «РН-Юганскнефтегаз» (дочернее предприятие ОАО «НК «Роснефть»), Муравленковского ГПЗ ОАО «СибурТюменьГаз», ОАО «Вольскцемент». Среди названных можно выделить проект для Муравленковского ГПЗ как самый энергоёмкий из действующих систем – система осуществляет пуск 5-ти двигателей СТДП-12500 кВт 10 кВ от 5-ти секций питающих шин.

К питающей сети устройство А6 подключается через выключатель – сетевую ячейку АЗ/А7. Система основана на использовании двух цепей питания двигателя: пусковой – во время разгона (например, АЗ-А6-А4-М) и штатной – во время установившегося режима (А1-М).

Следующий вариант схемы (см. рис. 3) связан с изменением количества пусковых устройств. Их количество принципиально ничем не ограничено. Критериями выбора являются сложность реализации главных цепей и оправданная необходимость.

В шкафах А5, А6 применяются выключатели либо ручные разъединители. Элементы А5, А6 позволяют выполнять секционирование пусковых цепей, и тем самым обеспечивается резервирование пусковых устройств, т.е. все двигатели смогут запускаться от одного устройства. Как вариант, пусковые устройства соединяются «глухо» (на рисунке обозначено пунктиром).

В течение 2007–2008гг. потребителям поставлены и включены в эксплуатацию 31 устройство ШПТУ 73-х двигателей напряжением 6, 10 кВ различных механизмов мощностью от 0,8 до 12,5 МВт – шаровые мельницы, насосные и компрессорные агрегаты. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1 Г.Н. Петров «Электрические машины» ч.2, М.: Госэнергетическое изд-во, 1963г.
- 2 ТУ 3410-021-20572135-2006 «Шкафы пусковые системы плавного пуска высоковольтных электродвигателей»

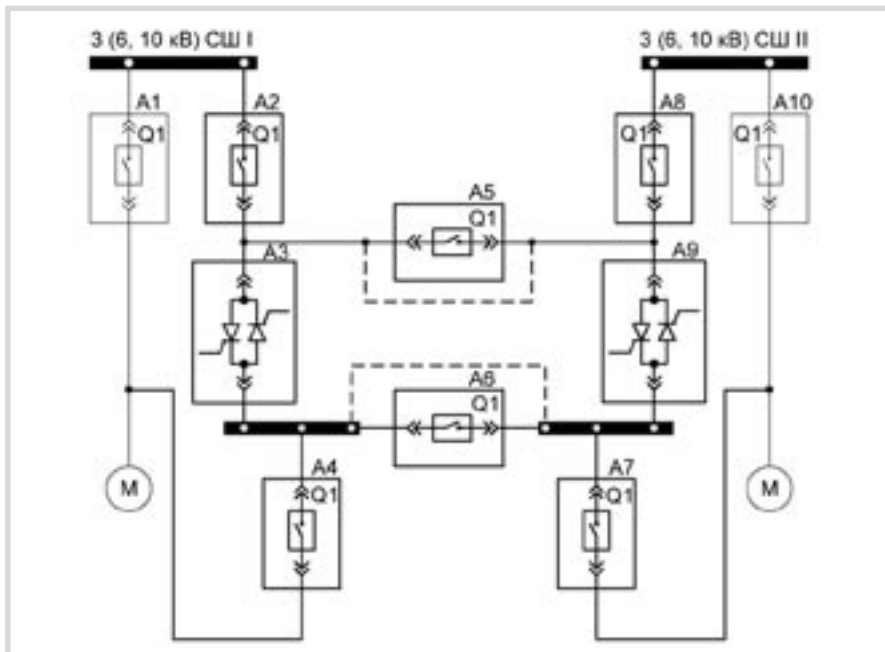


Рис. 3 Схема СПП с двумя пусковыми устройствами