

УПРАВЛЕНИЕ ТИРИСТОРНЫМИ ВОЗБУДИТЕЛЯМИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

О.М. Осипов, В.В. Мельников, А.А. Оськин, К.П. Куцый
г. Москва, МЭИ

CONTROL OF THYRISTOR ACTIVATORS OF HIGH-VOLTAGE SYNCHRONOUS MOTORS

O.I. Osipov, V.V. Melnikov, A. A. Oskin, C.L. Kutsii
Moscow, Moscow Power Institute

Представлены системы управления тиристорными возбудителями высоковольтных синхронных двигателей на примере модернизации нерегулируемых электроприводов насосных станций на их частотно-регулируемый синхронный электропривод.

Ключевые слова: машина центробежного литья валков, электропривод, тиристорный преобразователь напряжения, асинхронный двигатель.

Systems of control of thyristor activators of high-voltage synchronous motors by the example of conversion of uncontrollable electric drives of pump stations to their frequency-adjustable synchronous electric drive are presented.

Keywords: electric drive, synchronous electric motor, thyristor activator, control.

Модернизация нерегулируемых высоковольтных синхронных электроприводов насосных станций, как правило, связана с внедрением не только преобразователей частоты ПЧ, обеспечивающих регулирование скорости синхронных двигателей (СД), но и с заменой технически устаревших их возбудителей синхронных двигателей (ВСД) при сохранении ранее установленных электродвигателей. При этом требуется сохранять пуск и работу привода как в регулируемом, так и нерегулируемом их режимах за счет переключения питания статора СД либо на ПЧ, либо на промышленную сеть высокого напряжения. Отсюда ВСД должен обеспечивать асинхронный пуск СД при питании его от сети, частотный пуск и регулирование энергетических показателей привода при питании СД от ПЧ, а также режимы питания СД в процессе его переключения от ПЧ к питающей сети и обратно в соответствии с технологическими режимами насосной станции. Подобная многофункциональность работы ВСД налагает дополнительные требования к системам их управления и взаимосвязи между собой СД, ПЧ и ВСД.

Поскольку современные ПЧ имеют микропроцессорные системы управления, их согласование с ВСД требует полной замены устаревших ВСД с аналоговыми системами управления. Так при модернизации высоковольтных нерегулируемых синхронных приводов насосных станций «Чусовские очистные сооружения» 2-го подъёма (ЧОС-2) и «Большекамский водозабор» 2-го подъёма (БКВ-2) в г. Перми [1] все ранее работавшие

ВСД были заменены на нереверсивные тиристорные возбудители на основе преобразователей серии Simoreg DC Master с микропроцессорной системой управления, совместимой с интерфейсами современных ПЧ и контроллеров. В составе ВСД (рис. 1): главный контактор (ГК), ограничитель перенапряжений (ОПН), коммутационный дроссель (КД), выпрямительный мост (ВМ), тиристорный ключ (ТК) и разрядный резистор (РР). Выпрямленный ток с ВМ через контактные кольца ротора ККР синхронного двигателя подаётся в обмотку его возбуждения ОВСД. Силовые согласующие трансформаторы питания ВСД и аппараты максимально-токовой защиты возбудителя (на рис. 1 не отражены) при модернизации были сохранены. Питание статорных цепей СД ЧОС-2 и БКВ-2 осуществляется от высоковольтных многоячеечных преобразователей частоты серии Robicon Perfect Harmony, особенностью которых является синусоидальность выходного напряжения за счёт последовательного соединения нескольких низковольтных ПЧ с синфазными по основной гармонике напряжениями [1].

Функциональная схема алгоритма управления ВСД представлена на рис. 2. Здесь отмечены два управляющих воздействия: задание на ток возбуждения СД и команда на подключение резистора РР. Задание тока возбуждения формируется в функции режимов работы электропривода с питанием статора СД от ПЧ или от сети. При работе от ПЧ требуемая величина тока ротора вычисляется системой управления СУ ПЧ [2]. При работе от

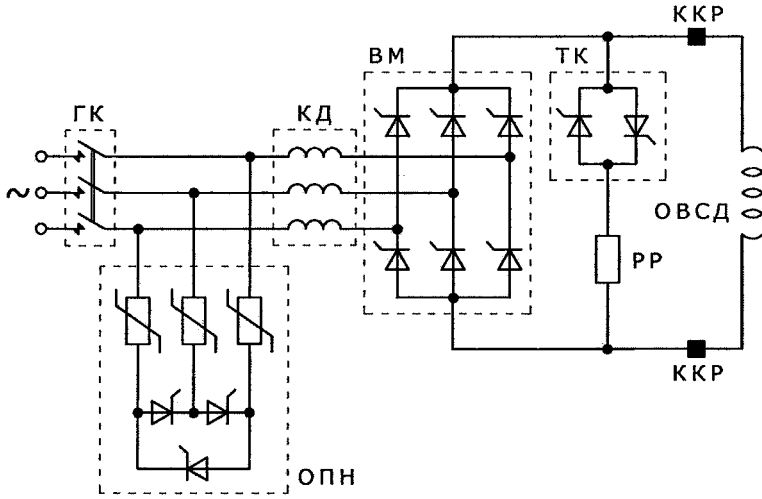


Рис. 1. Состав ВСД

сети задание тока возбуждения формируется системой управления ВСД на его свободных функциональных блоках.

При питании СД от сети задание тока возбуждения и команда на включение резистора РР от начала пуска до втягивания СД в синхронизм формируется в следующей последовательности. При пуске, когда скорость ротора находится в пределах от нуля до подсинхронной, узел прямого пуска (рис. 2) задаёт нулевой ток возбуждения и команду на включение резистора РР. При этом главный контактор ГК разомкнут и управляющие импульсы СИФУ выпрямительного моста ВМ заблокированы (указанные воздействия на рис. 2 не отражены). При достижении подсинхронной скорости узел прямого пуска отключает резистор РР от обмотки возбуждения СД. Далее разрешается подача управляющих импульсов СИФУ, включа-

ется контактор ГК и узлом прямого пуска формируется задание тока возбуждения СД, способствуя, тем самым, втягиванию ротора в синхронизм. Затем узел прямого пуска прекращает работу, а задание тока возбуждения начинает формироваться узлом поддержания требуемого $\cos \phi$.

При аварийных режимах в ВСД вступает в действие узел их анализа, отслеживающий состояние электропривода в реальном времени и имеющий приоритет в формировании управляющих воздействий. Так, в синхронном режиме при перегрузке и перегреве СД этот узел выдает предупреждение обслуживающему персоналу и формирует задание $\cos \phi = 1$, а при выпадении СД из синхронизма он отключает напряжение питания статора, включает резистор РР, задает нулевой ток возбуждения, блокирует СИФУ и отключает контактор ГК.

Описанные выше алгоритмы управления тех-

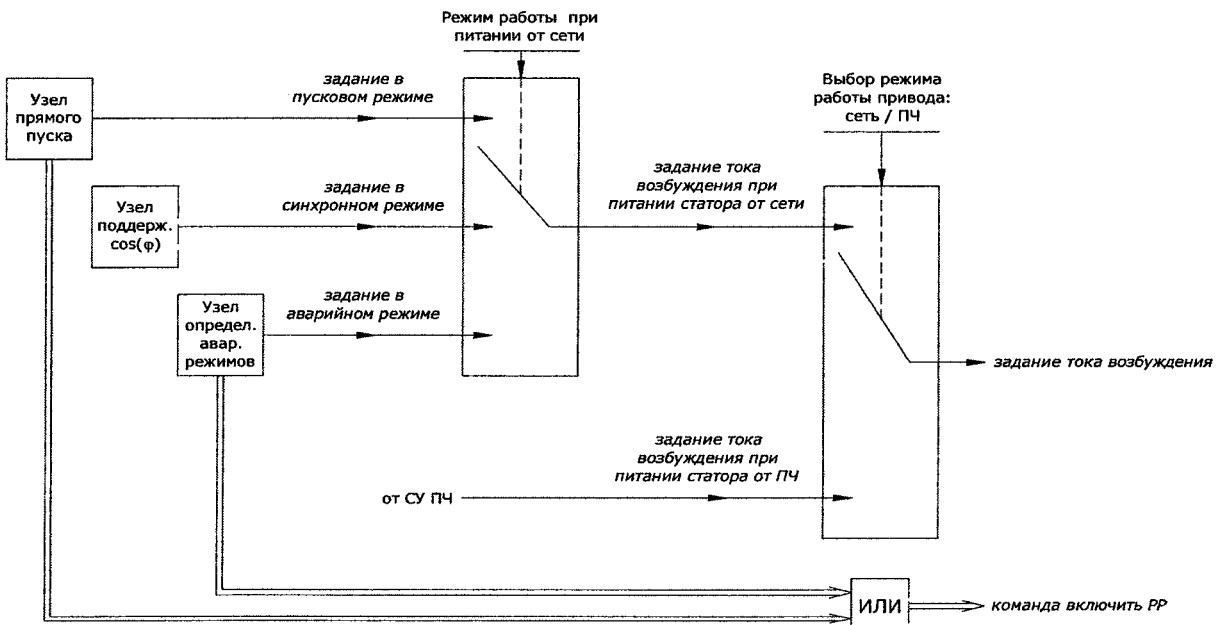


Рис. 2. Алгоритм управления ВСД

нически реализованы на свободных функциональных блоках программного обеспечения преобразователя Simoreg DC Master.

Работоспособность предложенной системы управления ВСД электроприводов насосных станций ЧОС-2 и БКВ-2 подтверждена экспериментальными исследованиями при различных режимах их работы. Так на рис. 3 представлены осциллограммы действующего значения тока статора ($I_s [A rms]$) и мгновенного значения тока в обмотке возбуждения ($i_f [A inst]$) синхронного двигателя серии СД-85/57-6У3 (800 кВт, 6 кВ) при прямом асинхронном его пуске. При пуске задвижка на стороне нагнетания насоса была закрыта.

Асинхронный пуск СД происходил в 4 этапа используя параметры скольжения, тока статора, реактивной мощности двигателя, а также текущее значение напряжения ротора и времени. Возможность одновременного применения нескольких принципов пуска обусловлена тем, что система управления ВСД реализована на быстродействующей микропроцессорной технике. Такой подход гарантирует правильное поведение системы управления ВСД при различных режимах работы СД и технологического оборудования.

В начальный момент первого этапа асинхронного пуска в высоковольтном распределительном устройстве (РУ - 6кВ) включается вакуумный выключатель и на статор СД подаётся высокое напряжение. При этом ротор СД неподвижен и замкнут на низкоомный разрядный резистор РР (см. рис. 1). На первом этапе ротор СД разгоняется под действием асинхронного вращающего момента, обусловленного взаимодействием токов демпфер-

ной клетки ротора и токов обмотки статора. При достижении подсинхронной скорости вращения система управления ВСД отключает разрядный резистор от обмотки ротора СД, заканчивая первый этап асинхронного пуска СД.

Второй этап асинхронного пуска СД характеризуется устойчивым вращением ротора на подсинхронной скорости с разомкнутой обмоткой возбуждения. При этом система управления производит непрерывную диагностику режима работы СД по нескольким независимым критериям, в числе которых амплитуда и частота ЭДС, наводимой на жазимах ОВСД, величина тока статора и время с момента пуска. Целью диагностики является принятие решения о возможности и моменте подачи тока возбуждения в обмотку ротора СД.

Третий этап асинхронного пуска СД начинается с момента подачи тока возбуждения. Форма кривой тока возбуждения в начале этого этапа (рис. 3) существенно зависит от того, каким образом сориентированы полюса обмотки возбуждения относительно потока машины в момент подачи тока. Тем не менее, ни для СД, ни для ВСД, ни для технологического процесса нет никакой разницы, какова эта форма. Важным является то, что третий этап по своей сути является форсировкой возбуждения, предназначенной для гарантированного втягивания СД в синхронизм. Во время третьего этапа ВСД выполняет два действия: подаёт большой ток возбуждения и диагностирует втягивание СД в синхронизм. Третий этап - форсировка возбуждения - намеренно затянута и заканчивается с выдержкой времени после момента диагностирования синхронного вращения СД.

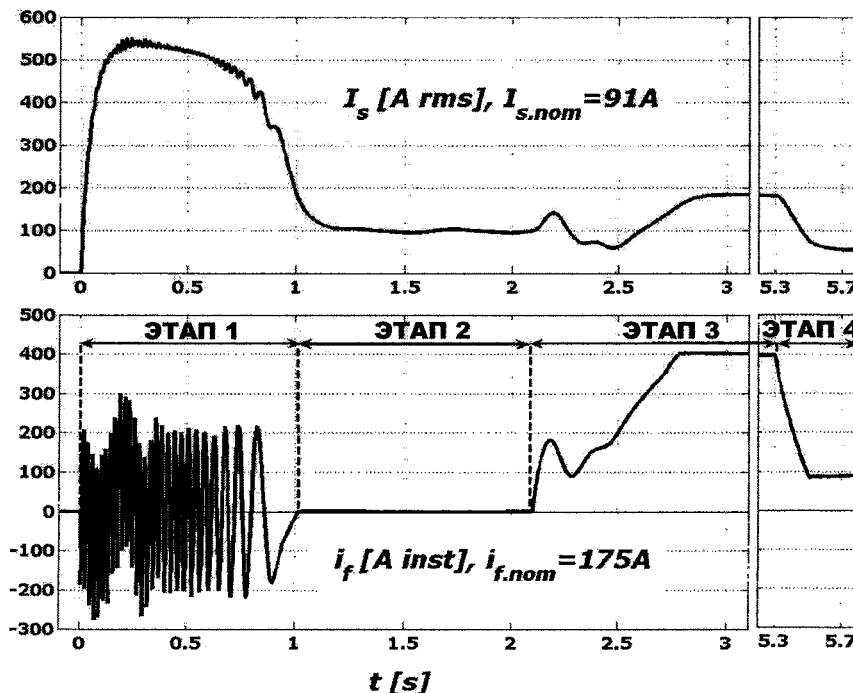


Рис. 3. Процесс прямого асинхронного пуска

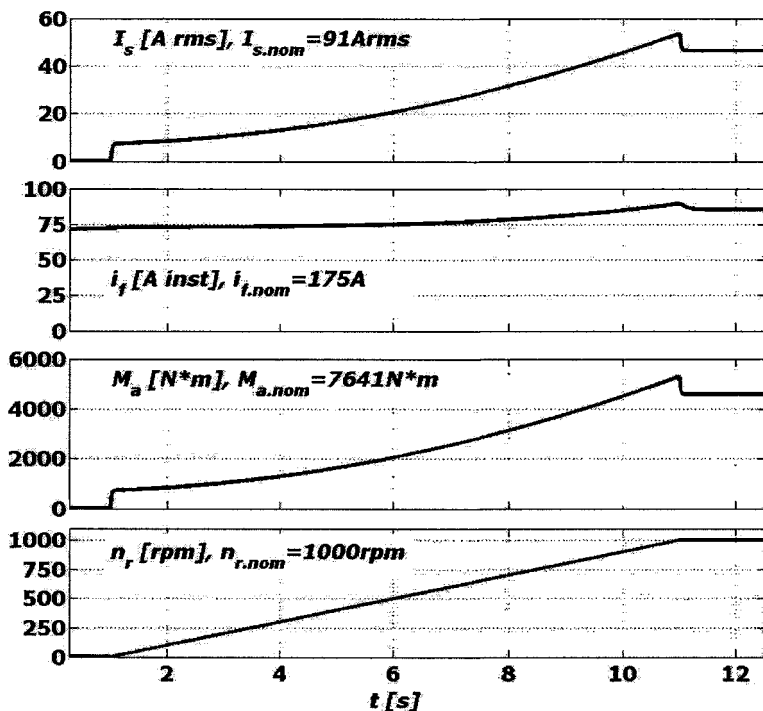


Рис. 4. Процесс частотного пуска

Четвёртый этап асинхронного пуска характеризуется синхронным вращением ротора СД и поддержанием системой управления ВСД заданного коэффициента мощности СД (на рис. 3 показан случай с поддержанием единичного коэффициента мощности). В сущности, четвёртый этап к асинхронному пуску не относится, поскольку является нормальным режимом работы СД при питании статора от сети.

Для сравнения пусковых режимов в нерегулируемом и регулируемом приводах на рис. 4 показаны осциллограммы частотного пуска того же насосного агрегата при аналогичных условиях.

Частотный пуск производился по задатчику интенсивности. Задание скорости изменялось от нуля до 1000 об/мин по линейному закону в течение 10 с. Фактическая скорость, частота напряжения и тока статора, как и амплитуда напряжения статора изменялись практически аналогично задающему сигналу.

При работе ВСД в составе частотно-регулируемого привода структура системы управления возбудителя существенно отличается от структуры, которая работает при питании статора от промышленной сети высокого напряжения. Управление и защиты СД при этом переносятся в ПЧ, а ВСД исполняет роль управляемого источника тока.

Разработанная система управления возбудителя ВТЦС при диагностике режимов работы и состояний СД использует одновременно несколько критериев и несколько доступных измерению координат, как в роторной, так и в статорной цепях

СД - т.е. использует информацию как с датчиков в шкафу управления ВСД, так и с датчиков в РУ-6 кВ. Это даёт гарантию правильного и своевременного определения аварийных режимов (выпадение из синхронизма и т.п.). Однако сложные и многочисленные алгоритмы диагностики в ряде случаев приводят к существенным перестраховкам в работе системы. Так, например, из рис. 3 видно, что на принятие решения о подаче тока возбуждения (этап 2 асинхронного пуска СД) система управления ВСД тратит времени больше, чем занимает собственно прямой пуск (этап 1 асинхронного пуска СД). При этом следует отметить, что время, затрачиваемое на этап 2, не является жестко детерминированной величиной и в зависимости от настроек системы управления, электромеханических свойств СД и характеристик механизма может варьироваться в пределах 1..7 секунд.

Особенность системы управления ВСД в возможности ее работы как при питании СД от сети, так и при его питании от ПЧ. Гибкость в перенастройке системы управления и ее согласовании с релейно-контакторной системой и блокировками в ранее действующих и сохраненных системах управления как низковольтной, так и высоковольтной частями синхронного электропривода насосных станций позволяют повысить надежность и оперативность модернизации подобных электроприводов. Опыт эксплуатации насосных агрегатов с СД и предложенной системы управления ВСД подтверждает их работоспособность СД как в нерегулируемых, так и в регулируемых электроприводах.

Литература

1. Мельников, В.В. Особенности применения многоячеечных преобразователей частоты в высоковольтных синхронных и асинхронных электроприводах / В.В. Мельников, А.А. Оськин,

К.Л. Куцкий // Труды МЭИ. «Электропривод и системы управления». - Вып. № 682. - М.: Изд-во МЭИ, 2006. - С. 34-45.

2. Blanc J. Y. Control, monitoring and protection of HV motors: Cahier Technique Merlin Gerin № 165. - P. 1-28. May 1995.

Поступила в редакцию 12.11.2007 г.

Осипов Олег Иванович. Доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированного электропривода московского энергетического института (МЭИ), г. Москва. Область научных интересов - электромеханические системы, их диагностирование.

Osipov Oleg Ivanovich. Doctor of technical sciences, professor of the Automated Electric Drive department of Moscow Power Institute, Moscow. Scientific interests: electromechanical systems and their diagnosing.

Мельников Владимир Валерьевич. Аспирант кафедры автоматизированного электропривода МЭИ, г. Москва. Область научных интересов - электромеханические системы.

Melnikov Vladimir Valerievich. Post-graduate student of the Automated Electric Drive department of Moscow Power Institute, Moscow. Scientific interests: electromechanical systems.

Оськин Артем Анатольевич. Аспирант кафедры автоматизированного электропривода МЭИ, г. Москва. Область научных интересов - электромеханические системы.

Oskin Artem Anatolevich. Post-graduate student of the Automated Electric Drive department of Moscow Power Institute, Moscow. Scientific interests: electromechanical systems.

Куцкий Кирилл Леонидович. Аспирант кафедры автоматизированного электропривода МЭИ, г. Москва. Область научных интересов - электромеханические системы.

Kutsii Cyril Leonidovich. Post-graduate student of the Automated Electric Drive department of Moscow Power Institute, Moscow. Scientific interests: electromechanical systems.