

ПЛАВНЫЙ ПУСК СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ-ГЕНЕРАТОРОВ 232 МВт 15,75 кВ на ТАШЛЫКСКОЙ ГАЭС

Кузьменко Виктор Агавиевич, Мологин Дмитрий Сергеевич,
Чуприков Виктор Сергеевич
АО Ансальдо-ВЭИ (г. Москва, Россия)

В 2006 году АО "Ансальдо-ВЭИ" ввело в промышленную эксплуатацию тиристорное пусковое устройство типа ТПУ-15,75/1000, именуемое далее ТПУ, предназначенное для плавного пуска в насосном режиме, регулирования частоты вращения и точной синхронизации с сетью шести синхронных двигателей-генераторов (СДГ) Ташлыкской ГАЭС типа СВО 1190/120-44 УХЛ4 мощностью 232 МВА и маховым моментом ротора (GD^2) 40000 т•м². ТПУ также обеспечивает рекуперативное торможение гидроагрегатов из любого режима работы.

Основные технические данные ТПУ

- Номинальное напряжение 15 750 В
- Номинальная мощность 23 000 кВт
- Номинальный выходной ток 1000 А
- Максимальная перегрузка по току 2000 А в течение 5 сек
- Диапазон регулирования частоты 0,1...60 Гц
- Управление и контроль тиристоров – по оптоволоконным световодам
- Охлаждение – принудительное деионизованной водой
- Уровень автоматизации, обеспечивающий работу ТПУ без присутствия персонала по командам от агрегатных контроллеров.

Схема ТПУ и состав оборудования

В основе ТПУ - трехфазная, шестипульсная схема преобразователя выпрямитель-инвертор со звеном постоянного тока. Однолинейная электрическая схема ТПУ и СДГ для пускового комплекса (два СДГ) приведена на рис.1. ТПУ питается от первой секции блочных шин 15,75 кВ через два последовательно соединенных трансформатора TG1 и TU1. Это напряжение поступает на вход ВТУ1 – шестипульсного тиристорного выпрямителя, откуда выпрямленный (постоянный) ток через сглаживающий реактор СР поступает в ВТУ2 – инвертор, выполненный по той же схеме, что и выпрямитель. Переменное трехфазное напряжение с выхода ВТУ2 через выходной выключатель ТПУ QU1 и токоограничивающий линейный реактор ЛР поступает на пусковые шины, к которым подключены пусковые выключатели СДГ 1QU и 2QU. ТПУ осуществляет плавный частотный пуск выбранного (подключенного к пусковым шинам) СДГ в режиме двигателя, регулирование его частоты вращения и синхронизацию с напряжением блочных шин. В режиме рекуперативного торможения ТПУ осуществляет торможение выбранного (отключенного от блочных шин и подключенного к пусковым шинам) СДГ, работающего в любом режиме, с выдачей энергии в сеть, при этом ВТУ2 работает в режиме выпрямителя, а ВТУ1 – в режиме инвертора.

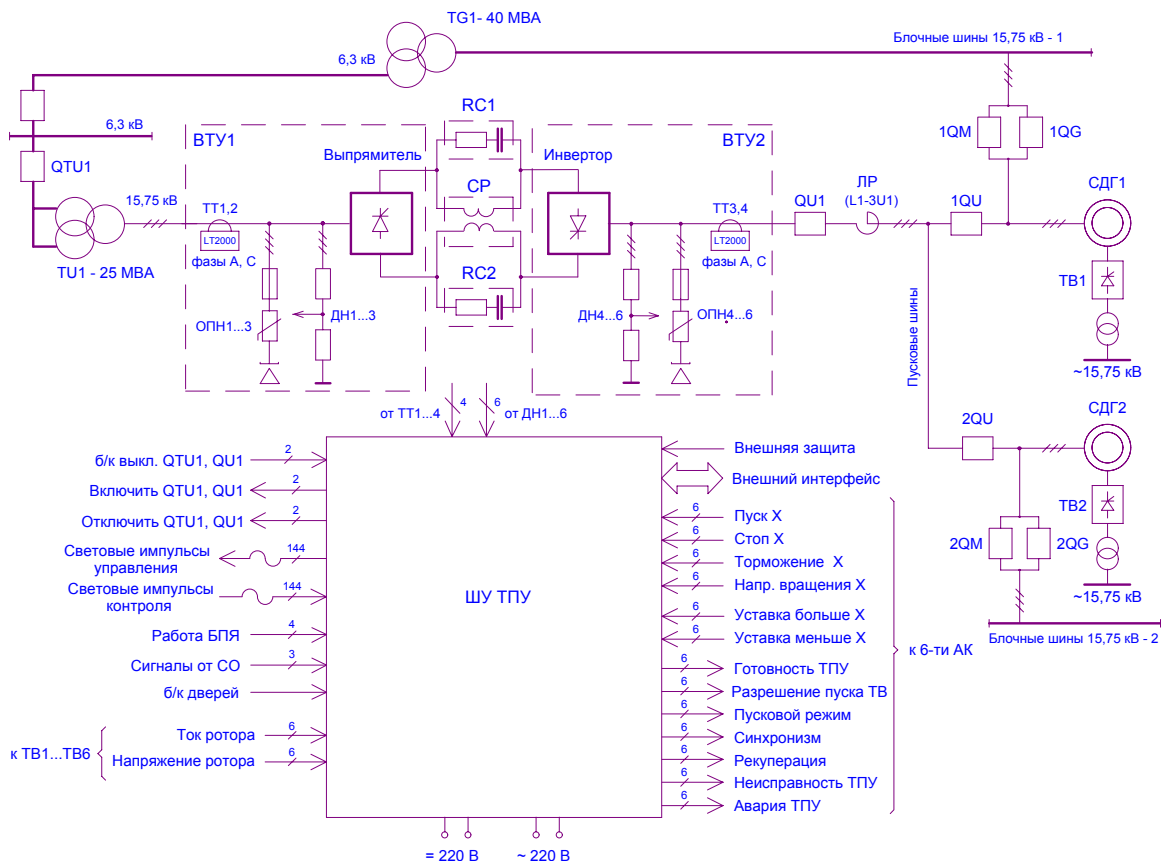


Рис.1. Однолинейная электрическая схема ТПУ-15,75/1000 и СДГ

В состав ТПУ входит следующее оборудование:

- Высоковольтное тиристорное устройство ВТУ1 (выпрямитель) – 1 шт.
- Высоковольтное тиристорное устройство ВТУ2 (инвертор)– 1 шт.
- Сглаживающий реактор СР типа РСС-1000/15-У3 – 1 шт.
- Шкаф управления типа ШУ ТПУ - 1 шт.
- Система водяного охлаждения– 1 шт.
- Блок RC-цепочек (RC1, RC2) - 2 шт.

Фото установки ТПУ на объекте приведено на рис.2.

Описание нестандартного оборудования

Высоковольтное тиристорное устройство

Каждое ВТУ представляет собой трехфазный преобразовательный мост, работающий в выпрямительном или инверторном режиме. Каждый мост состоит из шести тиристорных модулей, при этом модуль является плечом шестипульсного моста. Каждое плечо преобразовательного моста состоит из 12 последовательно соединенных тиристорных ячеек, причем одна ячейка является избыточной (резервной).

Каждая тиристорная ячейка включает в себя тиристор типа Т273-1250 (1250 А, 4200 В), ячейку управления (ЯУ), а также конденсатор и резисторы демпфирующей RC-цепочки. ЯУ обеспечивает форсированное включение

тиристора при получении светового импульса управления от шкафа управления (ШУ) ТПУ. В свою очередь ЯУ передает в ШУ световой сигнал, информирующий ШУ о наличии положительного напряжения на тиристоре и о получении электрического импульса зажигания управляющим электродом тиристора, что позволяет ШУ производить непрерывный контроль исправности тиристоров и каналов управления. Сигналы управления и контроля между каждой ЯУ и ШУ ТПУ передаются по индивидуальным волоконно-оптическим световодам, применение которых обеспечивает гальваническую развязку, высокую помехоустойчивость и надежность работы высоковольтного преобразователя.

В фазные цепи обоих мостов включены насыщающиеся реакторы, служащие для ограничения скорости нарастания анодного тока при включении тиристорov. В цепях переменного тока через быстродействующие плавкие предохранители подключены оксидно-цинковые ограничители перенапряжения. ВТУ содержит также измерительные датчики тока и напряжения, необходимые для работы системы управления ТПУ. Охлаждение тепловыделяющих элементов схемы осуществляется деионизованной водой.

Габариты ВТУ: 3000×1600×2300 мм, масса - 1,7 т.



Рис. 2. Тиристорное пусковое устройство на объекте

Система водяного охлаждения

Автономная система водяного охлаждения (СО), осуществляющая эффективное охлаждение тепловыделяющих компонентов ВТУ и демпфирующих цепочек, размещается внутри металлического каркаса, закрытого по боковым сторонам защитной сеткой. Она содержит два водяных насоса (один - резервный), пластинчатый теплообменник, ионно-обменный фильтр, запорную арматуру, измерительные датчики для контроля электрической проводимости, давления, температуры и расхода деионизованной воды и панель автоматического управления и контроля. СО связана с двумя ВТУ и двумя РС-цепочками трубами деионизованной воды и имеет два фланца для подключения технической воды. Утилизация тепла происходит в теплообменнике «вода-вода». Напорный бак, обеспечивающий необходимое давление на входе в насосы, вынесен за пределы СО и размещается рядом на столбе на высоте 2 м от уровня пола.

Система управления ТПУ

Система управления ТПУ (СУ ТПУ) размещается в шкафу управления и обеспечивает совместную работу с агрегатными контроллерами (АК), входящими в состав АСУ ТП станции, и системами тиристорного самовозбуждения (СТС) СДГ. СУ ТПУ спроектирована для работы с шестью СДГ и имеет соответствующее количество входных и выходных сигналов – см. рис.1.

Система управления ТПУ – цифровая, реализованная на специализированном контроллере СКУП-3, содержащем сигнальный процессор ADSP 2181 и программируемую логическую матрицу типа SPARTAN XCS40 - PQ240. Все связи с объектом реализованы с использованием оптронных развязок и светододов. Плавный частотный пуск агрегатов и их рекуперативное торможение осуществляются без датчика положения ротора. Функциональная схема СУ ТПУ приведена на рис.3.

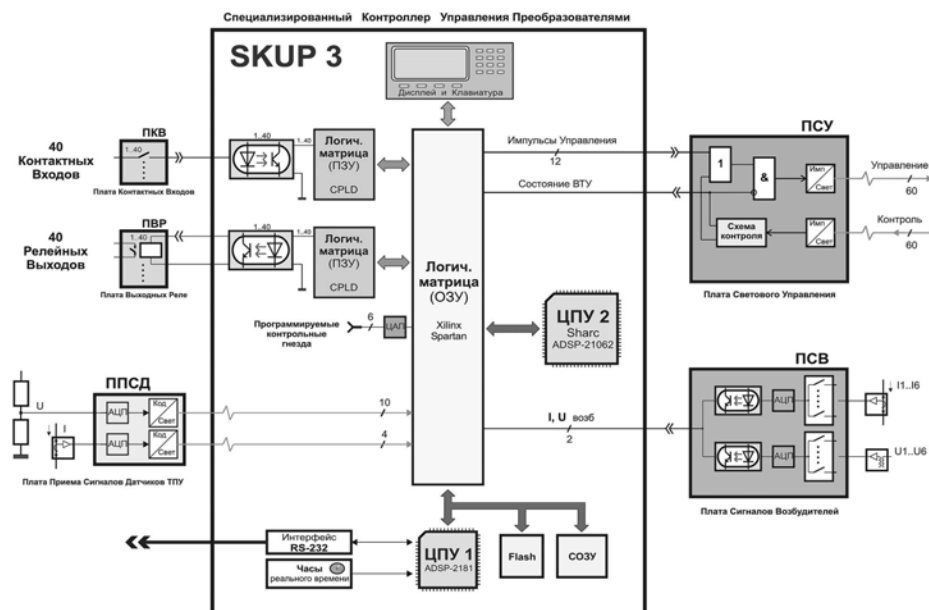


Рис.3. Функциональная схема СУ ТПУ

В системе управления на цифровом уровне реализуются все необходимые функции управления, регулирования, защиты и автоматики ТПУ. Кроме специализированного контроллера СКУП-3 СУ ТПУ включает в себя:

- 2 платы светового управления и контроля тиристоров (ПСУ),
- плату связи с возбудителями (ПСВ),
- платы ввода и вывода контактных сигналов (ПКВ и ПВР),
- плату приема сигналов от аналоговых датчиков (ППСД).

СУ ТПУ обеспечивает выполнение следующих функций (для любого выбранного СДГ):

- частотный пуск СДГ в насосном режиме;
- синхронизацию агрегата с сетью по частоте – автоматическую по командам от АК с включением выключателя QM от агрегатного синхронизатора и от колонки ручной синхронизации;
- ручное регулирование частоты вращения с поддержанием промежуточной частоты с заданием этого режима и частоты с лицевой панели ШУ ТПУ;
- рекуперативное торможение СДГ из любого режима (в том числе генераторного) по сигналу АК;
- режим ожидания с включенными выключателями на входе и выходе (QTU1 и QU1) и запертыми тиристорами.

Дистанционное управление ТПУ и контроль его состояния осуществляется агрегатными контроллерами, связанными с ШУ контрольными кабелями.

Фото ШУ ТПУ представлены на рис.4.



Рис.4. Шкаф управления ТПУ (вид спереди и сзади с открытой дверью)

Параметры пускового режима

Применение ТПУ обеспечивает пуск СДГ в насосном режиме при суммарной массе ротора и насоса-турбины 1000 тонн за 4 минуты при токе 800-900 А.

Особенности работы системы управления и процесса пуско-наладки

Пуск СДГ в насосном режиме из остановленного состояния делится на четыре этапа:

- определение положения ротора,
- разгон ротора до частоты 3,5 Гц в прерывистом режиме работы инвертора,
- разгон ротора до заданной частоты вращения при работе инвертора в режиме естественной коммутации вентилей моста под действием напряжения статора СДГ,
- синхронизация напряжения статора СДГ с напряжением сети при его переключении на сеть.

В течение всего процесса пуска СДГ система управления синхронизируется с напряжением на обмотках статора с помощью алгоритма фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). При этом программа формирует искусственную трехфазную систему синхронизирующих напряжений, синфазную с реальными напряжениями на обмотках статора. Это исключает помехи в синхронизирующем напряжении, связанные с коммутацией вентилей в выпрямителе и инверторе.

Исходное положение ротора перед началом пуска определяется по напряжениям на статоре, наведенным при подаче импульса тока в обмотку возбуждения. Положение ротора определяется с точностью до 1 градуса. Первый импульс тока в статор подается таким образом, чтобы исключить обратное вращение турбины. При правильном задании начальной фазы и начальной частоты вращения системы синхронизирующих напряжений чувствительность системы измерений напряжений статора позволяет включить ФАПЧ с момента начала вращения ротора. Это обеспечивает точную синхронизацию процесса пуска с самого начала вращения ротора СДГ.

При осуществлении операции торможения СДГ из двигательного или генераторного режима система управления определяет частоту вращения и направление вращения ротора по напряжениям на обмотках статора возбужденного СДГ. АК перед подачей сигнала торможения выдает в СУ дополнительный сигнал о направлении вращения гидроагрегата. Эти данные переносятся в блок фазовой автоподстройки частоты, после чего ФАПЧ работает в обычном режиме до окончания рекуперации.

Пуск и рекуперация СДГ проходит по тахограммам, различным для разных режимов работы агрегата (пуск насоса, торможение насоса, торможение генератора). Время пуска установлено в 4 минуты, при этом наклон тахограммы в конце пуска меньше, чем в процессе пуска, для того, чтобы избежать перерегулирования при подходе к подсинхронной частоте вращения. После достижения подсинхронной частоты СУ, реагируя на сигналы «больше» - «меньше» от синхронизатора АК, обеспечивает подстройку частоты и фазы вращения СДГ к сети.

Процесс пуска идет в следующей последовательности: подача тока возбуждения и определение начального положения ротора, разгон в режиме

импульсных токов (700 А, 10 сек) до частоты от 3,5 Гц (момент перехода в режим непрерывных токов), дальнейший разгон до подсинхронной частоты (ток 800-900 А, 4 мин), синхронизация, переключение СДГ на сеть (блочные шины). После включения в сеть, в течение 1 периода после прихода сигнала от АК о переключении, ТПУ снижает ток инвертора до нуля и переходит в режим ожидания.

Время синхронизации зависит от требуемой точности подстройки фазы и частоты и метода синхронизации. При пуско-наладочных работах (синхронизация была ручная) время синхронизации доходило до 15 минут. При использовании агрегатного синхронизатора время синхронизации не превысило 20 сек.

На рис.5. показана осциллограмма перехода инвертора из режима импульсных токов в режим непрерывных токов на частоте 3,5 Гц. Сверху вниз: напряжение на обмотке АВ статора, три фазных тока статора СДГ.

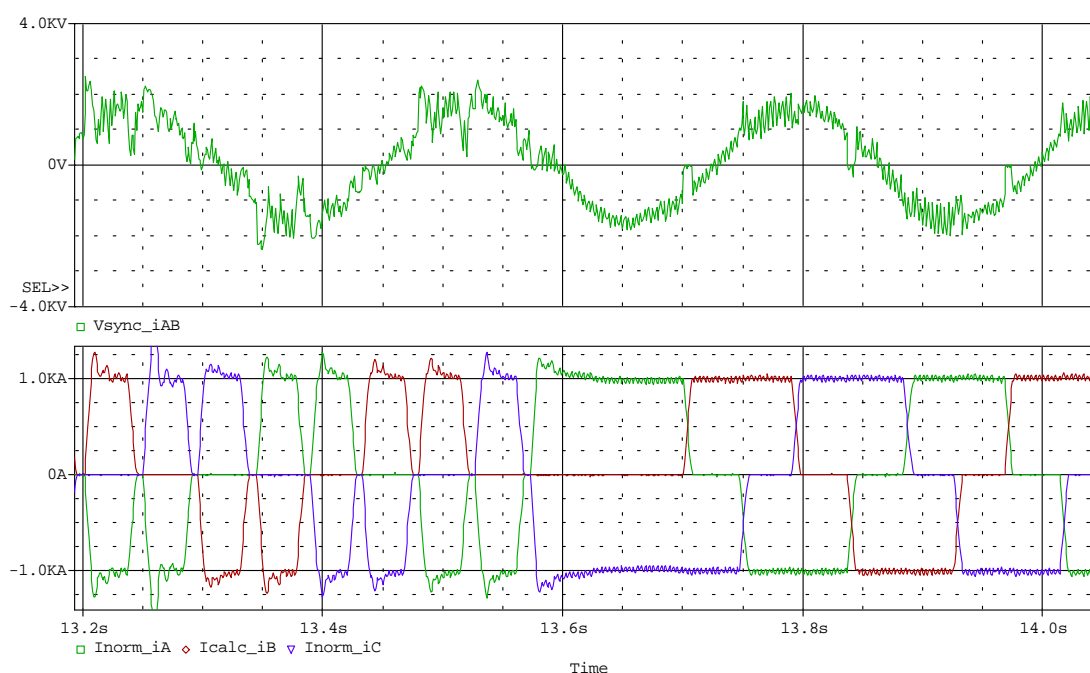


Рис.5. Осциллограмма перехода из режима импульсных токов инвертора в режим непрерывных токов

Система управления позволяет поддерживать длительный режим работы СДГ на заданной промежуточной частоте. Во время наладки потребовалось в течение 20 минут поддерживать частоту вращения гидроагрегата на уровне 25 Гц для проверки работы подшипников и вспомогательных механизмов. Этот режим был успешно реализован. Жидкостная система охлаждения ВТУ позволяет ТПУ работать неограниченно долго в любом режиме и осуществлять пуски и торможения агрегатов станции практически без перерывов.

Одной из особенностей пуско-наладочных работ на Ташлыкской ГАЭС было выделение руководством станции очень небольшого времени непосредственно на проведение пусковых опытов и подстройки параметров пускового режима и режимов рекуперации. Каждый пуск готовился большим коллективом специалистов различного профиля из нескольких организаций. Тем не менее, все

проблемы, связанные со стыковкой различного оборудования и настройкой режимных параметров ТПУ были успешно выполнены.

Список литературы

1. Таратута И.П., Чуприков В.С. Новые конструктивные решения высоковольтных тиристорных вентилей // Сборник докладов VII симпозиума "Электротехника 2010 год", том I. Московская обл., 27-29 мая 2003 г.