

УДК 681.5

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРНЫМИ АГРЕГАТАМИ КИПЯЩЕГО СТЕНДА

БОНДАРЬ П.С.

*Научно-исследовательский центр «Курчатовский институт»
(Москва, Российская Федерация)*

Аннотация. В статье отражены процесс разработки и внедрения программного обеспечения алгоритмов управления тиристорных агрегатов кипящего стенда КС НИЦ «Курчатовский институт». В материале рассматривается общее назначение кипящего стенда, работа тиристорных агрегатов и нагрев экспериментального участка. Автором были изучены устройство тиристорных агрегатов кипящего стенда, система управления нагревом и алгоритмное программирование среднего уровня, на котором базируется система управления. На основании полученных данных было разработано программное обеспечение для системы управления нагревателями для более оптимального управления нагревом, задания мощности и контроля выходных токов.

Ключевые слова: программа, алгоритм, управление, тиристор, агрегат, стенд, нагреватель.

SOFTWARE FOR BOILING STAND THYRISTOR UNITS CONTROL ALGORITHMS

PAVEL.S. BONDAR

*National Research Center «Kurchatov Institute»
(Moscow, Russian Federation)*

Abstract. The article reflects the development and introduction of thyristor units control system of NRC «Kurchatov Institute» Boiling stand. The general appointment of the Boiling stand, thyristor units functioning, and the experimental part heating are also reviewed. Thyristor units device, heating control system and middle algorithm-programming tool as base of the control system are examined by author. Using the received data, the heating control system software is developed for more optimal heating control, power setting and output currents measuring.

Keywords: program, algorithm, control, thyristor, unit, stand, heater.

Введение

На стенде КС, со времени его пуска в 1967 году, непрерывно ведутся эксперименты, в которых на моделях ТВС водо-водяных реакторов исследуются гидравлическое сопротивление, кризис теплоотдачи при кипении, устойчивость принудительной и естественной циркуляции теплоносителя, поперечное перемешивание теплоносителя, интенсификация теплообмена за счёт использования решёток-интенсификаторов, понижение теплотехнических запасов из-за локальных нарушений геометрии топливной сборки. Эти исследования необходимы для обоснования теплотехнических запасов активных зон реакторов и оптимизации конструкций ТВС реакторов.

Система электронагрева моделей ТВС подготавливается к подаче электрического тока на экспериментальный пучок. Вход в кризисное состояние осуществляется плавным повышением электрической мощности, подаваемой на модель ТВС, при сохранении величин остальных режимных параметров неизменными. Поскольку кризис теплоотдачи исследуется в стационарных условиях, вход в кризисное состояние производится плавно.

За работу электронагревателя первого контура и подачу мощности на участок экспериментальной установки отвечают тиристорные агрегаты. Для того, чтобы гарантировать плавное нарастание мощности и оптимальную работу тиристорных агрегатов по выходному току и выдаваемой мощности, необходимо внедрить в АСУ ТП стенда программное обеспечение алгоритмов управления тиристорными агрегатами, обеспечивающее сведение токов, идущих через тиристоры, уменьшение биений и взаимное регулирование токов по всем агрегатам.

Методика проведения эксперимента

Электропитание экспериментальных участков осуществляется от преобразовательной подстанции общей мощностью 10000 кВт и построено на тиристорах. Быстродействующие тиристоры предназначены для применения в качестве ключевых элементов в цепях

преобразователей электроэнергии, где требуются малое время включения и выключения, высокие скорости нарастания тока и напряжения [1]. Преобразовательная подстанция состоит из четырех управляемых тиристорных выпрямителей, выходная мощность каждого из которых равна 2500 кВт.

Схема преобразовательной подстанции позволяет осуществить все возможные варианты параллельной и независимой работы четырех агрегатов. Напряжение выпрямленного тока изменяется от 0 до 150 В на первом диапазоне регулирования и от 0 до 300 В на втором диапазоне. Наибольшая мощность преобразовательной подстанции получается при параллельной работе всех четырех агрегатов на общую нагрузку на втором диапазоне регулирования [2]. При этом выходной ток равен 40 кА, а напряжение 200 В. На втором диапазоне регулирования напряжение может быть увеличено до 300 В, но при этом необходимо пропорционально уменьшить выходной ток так, чтобы суммарная выходная мощность не превышала 10000 кВт.

Для нормальной эксплуатации кипящего стенда КС необходимо, чтобы рассогласование токов между двумя шкафами одного тиристорного агрегата не превышало 500 А, а дребезг и выбросы отдельных токов не превышал 50 А на всём диапазоне мощности, равном 5 МВт при работе всех четырёх тиристорных агрегатов.

АСУ ТП кипящего стенда КС построена с использованием SCADA-системы из программно-технического комплекса «УМИКОН» и содержит в себе автоматизированные рабочие места научных сотрудников, человеко-машинный интерфейс с выводом важных для наблюдения параметров экспериментальной установки, программную часть (программное обеспечение, алгоритмы управления верхнего и среднего уровня, мнемосхемы, база данных реального времени, архивы данных) и аппаратную часть (персональные компьютеры, станции сбора данных, серверы, модули центрального процессора, модули среднего и нижнего уровня, силовое оборудование). На рис. 1 показано подключение модулей нижнего и среднего уровней для связи с АРМ и организации управления тиристорными агрегатами.

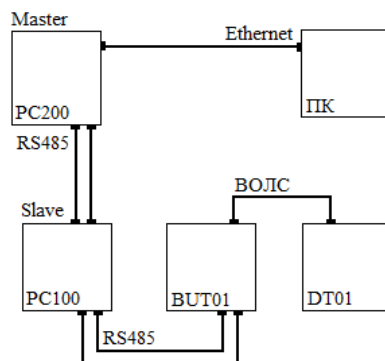


Рис. 1. Структура управления и сбора данных тиристорных агрегатов

Модуль центрального процессора PC200 представляет собой функционально законченную адаптированную к промышленным условиям РС-совместимую ПЭВМ с расширенной поддержкой гальванически развязанных внешних интерфейсов. Модуль PC100 предназначен для организации связи и взаимодействия с модулями ввода-вывода и ПЭВМ, а также для выполнения вычислений, обработки сигналов ввода-вывода, поддержки распределенных сетей и т. п. Модуль БУТ01 предназначен для управления 3-х фазным полностью контролируемым мостовым выпрямителем. Используется совместно с модулем ДТ 01. Модуль ДТ01 предназначен для размножения импульса поджига на 8 тиристоров типа Т143-500. В персональном компьютере функционирует база данных реального времени – программа MWBridge, включающая в себя базы данных реального времени и алгоблочное программирование верхнего и среднего уровня [3].

Программирование среднего уровня производится непосредственно в модуле центрального процессора PC100, управляющие команды из которого поступают в модуль управления тиристорами БУТ01 по интерфейсу RS-485.

Выбор программно-технического комплекса, включающего в себя модули центрального процессора и связи с оборудованием нижнего уровня, а также алгоритмическое программирование верхнего и среднего уровней для построения системы управления обусловлено необходимостью плавного и точного регулирования мощности нагревателя экспериментального участка для предотвращения выбросов по температуре, запроектных кризисов теплоотдачи и, как следствие, разрушения исследуемого канала.

На рис. 2 представлено тело алгоритмической программы среднего уровня, в котором реализован алгоритм управления тиристорными агрегатами.

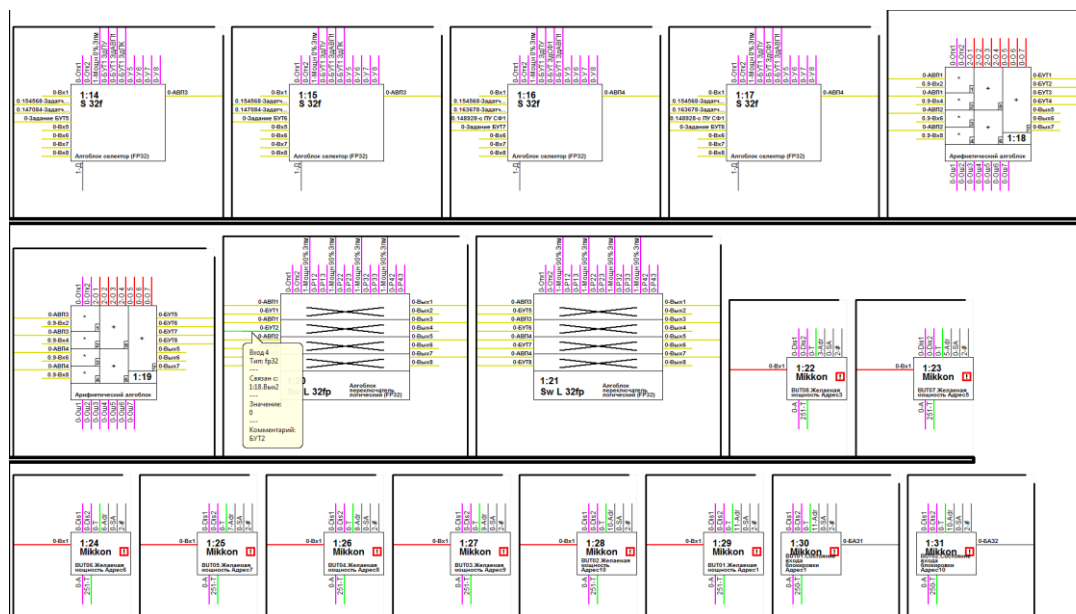


Рис. 2. Часть алгоритма управления тиристорными агрегатами

Интерфейс программирования выполнен в виде набора типовых и сервисных графических блоков, содержащих в себе наборы функций либо служащие для приема и выдачи необходимых сигналов и их преобразования.

Написанный алгоритм позволяет переключать задание мощности между несколькими пультами задатчиками, частично или полностью сбрасывать мощность с нагревателя автоматически при поступлении аварийных сигналов, формировать сигналы аварийной защиты тиристорных агрегатов, транслировать команды управления с пульта кипящего стенда КС в модули нижнего уровня и обрабатывать выходные данные агрегатов, такие как токи тиристоров, мощность нагревателя, напряжение на плитах нагревателя.

Результаты и их обсуждение

Такт работы программы, написанной с помощью алгоритмического программирования среднего уровня, составляет 50 мс, что достаточно для системы управления тиристорными агрегатами. Задание значения мощности нагревателя происходит с высокой частотой обновления, что позволяет задавать мощность плавно. Проведённые испытания внедрённой системы управления показали хорошую сходимость выходных токов и их минимальное отклонение между агрегатами и в пределах ожидаемых величин. На рис. 3 представлен график зависимости изменения значений выходных токов от времени при росте мощности нагревателя.

Рассогласование между токами одного агрегата не превысило 100 А, отклонение токов от ожидаемых величин и выбросы токов также не вышли за пределы 50 А, что позволили плавно наращивать мощность нагревателя при выходе на новые режимы исследования экспериментальной части контура в серии экспериментов по исследованию кризиса теплоотдачи.

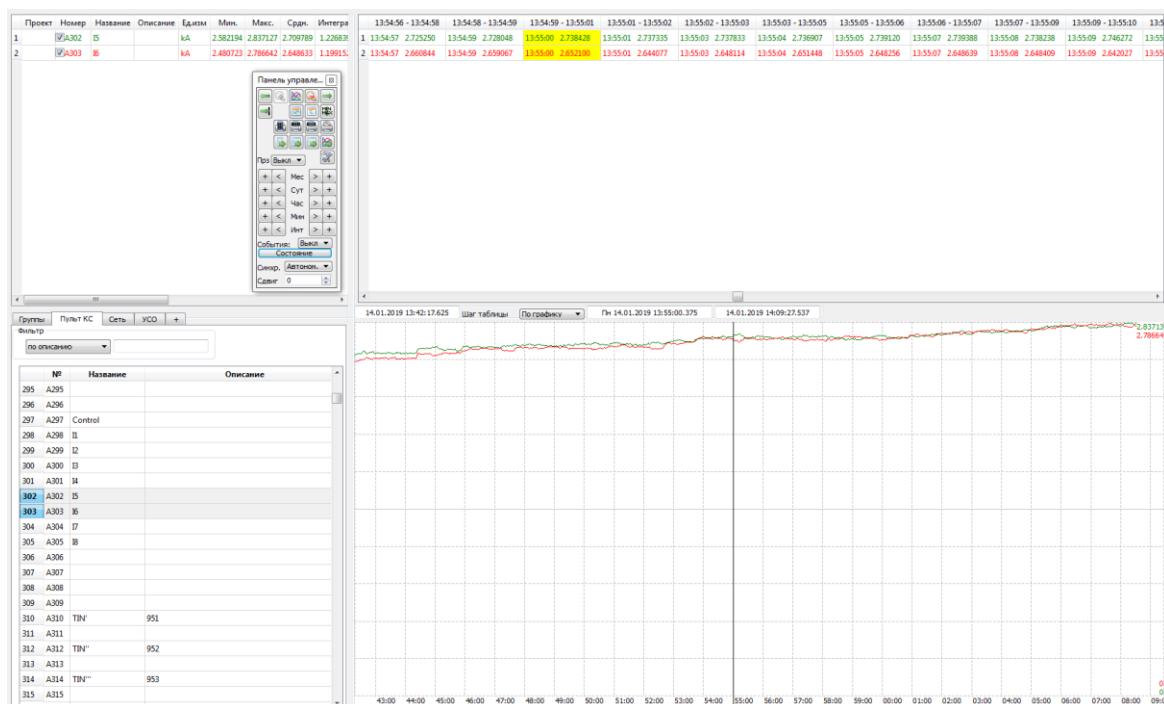


Рис. 3. График зависимости изменения значений выходных токов от времени

С другой стороны, важной проблемой остаётся существенное рассогласование токов разных тиристорных агрегатов, достигающее 400 А, что может негативно сказаться на выдаваемой мощности нагревателя, так как резкое увеличение рассогласования также может привести к неконтролируемому повышению температуры в канале, резкому запариванию трубок экспериментального участка и, как следствие, к запроектному кризису теплоотдачи и разрушению трубок. Необходимо дополнить алгоритм управления тиристорными агрегатами регулирующими органами с заданным эталонным значением тока, ожидаемого в системе при заданной мощности нагревателя с пульта управления.

Заключение

Были изучены тиристорные агрегаты кипящего стенда и модули среднего и нижнего уровня, расположенные на стенде. В соответствии с техническими требованиями и количеством сигналов была разработана структурная схема алгоритма управления. Перед разработкой был проведён анализ и выбор программных средств и аппаратной части системы.

С помощью системы технологического программирования разработан и реализован алгоритм управления тиристорными агрегатами. Разработанное ПО прошло успешные испытания при проведении на кипящем стенде экспериментов по кризису теплоотдачи.

Список литературы

1. Замятин В.Я. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: Справочник. - М.: Радио и связь, 1984. - 576 с.
2. Ковалев Ф.И., Мосткова Г.П. Полупроводниковые выпрямители, Энергия 1967. - 478 с.
3. Лебедев В.О. Руководство пользователя MWBridge MLB. 2020 г.