



СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКОЙ НА БАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ GE Fanuc

С.П. Сергеев, Г.П. Степанюк, М.Ю. Комлык (ОАО "Сумское НПО им. М.В. Фрунзе")
Е.В. Омельченко (НПК "АСУ Инжиниринг")
Н.А. Захаров (Advantek Engineering)

Рассмотрена система управления энергетической газотурбинной установкой, реализованная на основе ПЛК GE Fanuc. Приведена структура контроллера. Описано применение дополнительных устройств, выпускаемых Advantek International (США) - компенсаторов температуры холодных спаев и цифровых индикаторов. Рассмотрено программное обеспечение контроллера. Приведено описание программного регулятора топлива, реализованного с использованием технологии Advanced Control.

Одним из способов эффективного использования энергоресурсов и обеспечения надежного энергоснабжения является применение энергетических газотурбинных установок (ЭГТУ) небольшой мощности (до 25 МВт). На Сумском машиностроительном научно-производственном объединении (СМНПО) им. М.В. Фрунзе изготовлена ЭГТУ собственных нужд мощностью 16 МВт. ЭГТУ создана на базе газотурбинного двигателя и генератора российского производства. Система управления (СУ) указанной установкой изготовлена на СМНПО с участием фирм Advantek Engineering (Москва) и Advantek International (Нью-Джерси, США).

СУ ЭГТУ построена на основе ПЛК GE Fanuc сер. 90-70, успешно применяемого для управления газоперекачивающими агрегатами [1] с газотурбинным и электрическим приводом. В базовом конструктиве ПЛК установлены блок питания, центральный процессор, дискретный модуль ввода, дискретный модуль вывода, аналоговый модуль ввода, аналоговый модуль вывода, коммуникационный модуль Modbus Slave, контроллер полевой шины Genius. К полевой шине подключены станции ввода/вывода Field Control.

Модули ввода/вывода, установленные в базовом конструктиве, обеспечивают ввод данных, критичных ко времени их обработки, и управление исполнительными элементами защиты установки. Аналоговый модуль вывода используется для управления клапаном подачи топлива ДУС 6.5 российского производства.

Подсистема ввода/вывода Field Control [2] обеспечивает с достаточным быстродействием ввод технологических параметров и выдачу управляющих сигналов. Применение модулей Field Control позволяет достичь значительного экономического эффекта как вследствие уменьшения стоимости оборудования GE Fanuc, так и в результате упрощения конструкции шкафов СУ и снижения стоимости их проектирования и изготовления. В составе СУ при-

менены шасси Field Control, обеспечивающие возможность горячей замены модулей. Номенклатура аналоговых модулей Field Control обеспечивает как ввод токовых сигналов 4...20 мА, так и температурных – от термометров сопротивления и термопар – без промежуточных преобразователей.

Для термопар применен компенсатор температуры холодных спаев, выпускаемый фирмой Advantek International. 8-канальный компенсатор CJCM-018 представляет собой изотермальную сборку. Холодные спаи термопар и термистор установлены в отверстиях алюминиевой пластины и залиты изолирующим компаундом, обладающим высокой теплопроводностью. Такая конструкция обеспечивает электрическую изоляцию между холодными спаями и датчиком и одинаковую температуру во всем модуле. Сигнал от термистора подается на вход термопарного модуля ввода. Расчет измеряемой температуры с учетом поступающей от термистора температуры холодного спаея выполняется внутренней программой модуля, пользователь должен только указать в конфигурации модуля, что используется внешняя компенсация температуры холодного спаея. Устройство компенсации температуры холодного спаея монтируется на DIN-рельс. Оно подключается к шасси Field Control медными проводами длиной до 200 м, что обеспечивает значительную экономию дорогостоящего термопарного провода.

СУ размещена в двух стойках контроля и регулирования, включающих ПЛК, периферию Field Control, аппаратуру электропитания, промежуточные реле, автономный блок экстренного аварийного останова и в стойке оперативного управления. Стойки спроектированы и изготовлены на СМНПО им. М.В. Фрунзе. Стойки контроля и регулирования размещены в отдельном отсеке около турбогенератора и подключены к стойке управления в операторной одним интерфейсным кабелем и одним контрольным кабелем, что дало возможность уменьшить протяженность кабельных линий установки более чем в 10

раз и соответственно повысить надежность управления. Блок экстренного аварийного останова выполнен на реле и обеспечивает аварийный останов установки независимо от контроллера, что позволило не устанавливать дублирующий контроллер. Стойка оперативного управления имеет в своем составе, наряду с промышленным компьютером, кнопки аварийного и экстренного останова, информационные табло и 5-разрядные цифровые индикаторы DSP-005, выпускаемые Advantek International. Группой из 6 индикаторов управляют 8 дискретных выходов контроллера – 2 управляющих, общих для всех приборов в группе, и 6 информационных – по одному на каждый индикатор. По отношению к контроллеру DSP-005 являются slave-устройствами. Применение цифровой связи между контроллером и индикаторами вместо традиционно используемых аналоговых каналов повышает точность показаний, обеспечивает их полное совпадение с данными, отображаемыми на операторской станции, снижает стоимость системы. Кроме индикаторов DSP-005 Advantek International выпускает 4-разрядные индикаторы DSP-004. Данные устройства могут использоваться как с контроллерами GE Fanuc, так и с любыми другими. Индикаторы и кнопки управления гарантируют управление установкой независимо от компьютера.

На верхнем уровне СУ применена SCADA-система российского производства – Trace Mode. Связь контроллера с операторской станцией реализована по протоколу Modbus через последовательный порт коммуникационного модуля. Связь ПО Trace Mode с оборудованием GE Fanuc была реализована штатными средствами без дополнительных доработок. Помощь специалистов фирмы AdAstra позволила заметно ускорить процесс интеграции контроллера и операторской станции в единую систему. Прикладное ПО верхнего уровня по выполняемым функциям соответствует общепринятым современным требованиям.

Прикладное ПО ПЛК СУ написано на языке релейно-контактной логики в среде Logicmaster. Программный регулятор топлива написан на языке С и интегрирован в релейную логику в виде вызываемой подпрограммы. В рамках такой структуры ПО успешно решается задача обработки большого числа аналоговых и дискретных сигналов, формирования ограничений и блокировок, управления пуском и останом.

ПЛК 90-70 и система ввода/вывода Field Control обладают развитой системой самотестирования и самодиагностики. В рамках прикладного ПО ПЛК реализован опрос состояния модулей ПЛК и Field Control с выдачей информации о неисправностях на операторскую станцию. В аналоговых модулях ввода Field Control реализована проверка каждого канала на обрыв линии и нахождение сигнала в допустимом диапазоне. Также осуществляется опрос результатов диагностики модулей ПЛК, модулей ввода/вывода и станций Field Control, обобщающих системных переменных, указывающих на наличие и возникнове-

ние каких-либо неисправностей в ПЛК. Результаты диагностики оборудования передаются на операторскую станцию. Оперативное информирование дежурного персонала о неисправностях позволяет обеспечить безопасность функционирования объекта на современном уровне. Следует отметить, что в течение многих лет эксплуатации ПЛК GE Fanuc series 90-70 на объектах газовой промышленности отказов в них зафиксировано не было.

Комплекс алгоритмов для регулирования подачи топлива требует довольно сложных вычислений, поэтому он реализован в виде программного блока на языке С, что обеспечивает его высокое быстродействие. В нем для повышения эффективности системы активно используются технологии Advanced Control. Обзор Advanced Control приведен в [3]. Программный регулятор разработан специалистами российской фирмы Advantek Engineering. Он является законченным продуктом, поставляемым в виде импортируемого в библиотеку Logicmaster модуля, сопровождаемым комплектом документации. Он успешно интегрирован в написанное специалистами СМНПО прикладное ПО контроллера.

Газотурбинный двигатель как объект регулирования представляется в виде комплекса сложных динамических объектов высокого порядка. Так, например, по температуре газов с учетом инерционности термопарного канала измерения он является объектом третьего порядка, по частоте вращения свободной турбины – не ниже второго порядка. Применение для управления этими важными параметрами традиционно используемых ПИД-регуляторов не позволяет получить соответствующего современным требованиям качества и быстродействия регулирования и требует внесения в контур управления дополнительных корректирующих звеньев.

Программный регулятор топлива синтезирован таким образом, что передаточная функция каждого из регуляторов является обратной передаточной функцией двигателя по соответствующему параметру, то есть точно учитывает динамические свойства двигателя. Например, регулятор температуры содержит три корректирующих звена, одно из которых учитывает динамические свойства двигателя, два – термопары. Регулятор частоты вращения свободной турбины содержит два корректирующих звена, первое из которых компенсирует собственную инерционность вала свободной турбины, второе – влияние вала компрессора на тепловую мощность свободной турбины. Параметры корректирующих звеньев, входящих в состав регуляторов, рассчитываются специальным модулем адаптации в соответствии с режимом работы двигателя. Благодаря этому любой из регуляторов может быть включен в работу сразу после розжига камеры сгорания. Реализация корректирующих звеньев потребовала применения оригинальной вычислительной схемы, исключающей динамическую ошибку при переходе с одного регулируемого параметра на другой. В результате принятых решений быстродействие регуляторов

обеспечивается при низкой критичности к разбросу параметров двигателя. Регуляторы, настроенные с использованием модели, требуют минимальной подстройки на реальном двигателе. Регуляторы, настроенные на конкретном образце двигателя, не требуют подстройки для любого двигателя данного типа.

Традиционно для запуска газотурбинной установки используется временная программа дозирования топлива. Поскольку поведение двигателя при запуске сильно зависит от его теплового состояния, необходима большая экспериментальная работа по настройке программы дозирования и ее коррекции. Тем не менее, даже при оптимальной настройке программы дозирования характер изменения температуры газов при запуске горячего и холодного двигателя резко отличается. Благодаря низкой критичности регуляторов к изменению параметров двигателя нам удалось использовать регуляторы на запуске, начиная с момента розжига камеры сгорания. Запуск двигателя осуществляется под управлением ограничителя градиента температуры, регулятора ускорения компрессора высокого давления и ограничителя температуры газов. Ограничитель градиента, как правило, вступает в работу в начальной фазе запуска, регулятор ускорения и/или ограничитель температуры – в средней и конечной фазе. Переход с одного регулятора на другой определяется характером изменения регулируемых параметров, что зависит от теплового состояния двигателя и параметров воздуха на входе. В результате обеспечивается устойчивый запуск двигателя в любом тепловом состоянии с минимальным забросом по температуре и исключается трудоемкая экспериментальная работа по выбору программ дозирования топлива.

Полный газодинамический расчет дозатора с учетом докритического режима истечения газа обеспечивает точность расчета массового расхода газа, соизмеримую с точностью коммерческого расходомера, и позволяет устойчиво работать при перепадах давлений на дозаторе до 2 атм, что крайне важно для энергетических установок с низким давлением топливного газа.

В регулятор встроена модель РВ на основе нелинейной динамической характеристики. Модель описывает статические и динамические характеристики двигателя и термпары в диапазоне режимов от пускового до максимального. Описывается поведение системы сво-

бодная турбина – генератор в режимах синхронизации, автономной, общей и параллельной сети. При переходе в режим работы с моделью она формирует значения всех регулируемых параметров. Для обеспечения безопасности управления установкой в рамках регулятора предусмотрено автоматическое переключение из модельного режима в рабочий при поступающем в систему управления значении оборотов турбины высокого давления выше заданного предела.

Использование модели позволяет оперативно и, главное, с высокой надежностью провести тестирование регуляторов и логических подпрограмм управления как на этапе их разработки, так и при внесении изменений в процессе пуско-наладочных работ. В рамках испытаний системы на модели проверяется функционирование программного регулятора топлива в целом, релейно-контактной логики ПЛК и ПО операторской станции. Проведение таких испытаний перед работой с реальным технологическим объектом управления существенно снижает риск возникновения нештатных ситуаций во время пусконаладочных работ на установке. Одним из перспективных направлений развития регулятора топлива является использование модели для обнаружения и парирования отказов датчиков первичной информации.

На СМНПО им. М.В. Фрунзе в сжатые сроки изготовлена энергетическая установка, отличающаяся модульной конструкцией и небольшими габаритами, возможен серийный выпуск таких установок. В ней собрано оптимальное сочетание российских, украинских и импортных комплектующих, все инженерные и монтажные работы выполнены в России и Украине. В итоге получен продукт с хорошим показателем цена/качество, перспективный как для рынка России и СНГ, так и для дальнего зарубежья. СУ установкой на базе оборудования GE Fanuc может с успехом применяться и на других ГТУ различного применения.

Список литературы

1. Балавин М.А., Швабский В.Л., Сеницкий Р.Б. Системы агрегатной автоматики сер. Квант // Промышленные АСУ и контроллеры. 2000. №11.
2. Захаров Н.А. Средства GE Fanuc для построения распределенных АСУТП Genius и Field Control // Там же. 1999. №3.
3. Соболев О.С. Современные методы управления в АСУТП – Advanced Control // Там же. 1999. №12.

Сергеев Сергей Павлович – начальник НПЦ САУ,

Степанюк Григорий Прокофьевич – начальник отдела автоматики и КИП,

Комлык Михаил Юрьевич – начальник отдела АСУ ОАО "Сумского НПО им. М.В. Фрунзе".

Контактные телефоны: (38 0542) 24-17-93, 24-31-92, 24-59-05.

E-mail: sergeev@frunze.com.ua, stepanuk@frunze.com.ua, komlik@frunze.com.ua

Омельченко Евгений Всеволодович – директор НПЦ "АСУ Инжиниринг".

Контактный телефон (38 0542) 21-63-41. E-mail: automen@chereda.net

Захаров Николай Анатольевич – канд. техн. наук, генеральный директор фирмы "Advantek Engineering".

Контактный телефон (095) 135-42-81. E-mail на info@advantekengineering.ru