

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПЕРИФЕРИЙНЫХ МОДУЛЕЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

©2016 О.А. Волнухин, В.А. Лисейкин, И.А. Тожокин, М.Н.Чурин

Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности,
г. Пересвет Московской области

DEVELOPMENT OF SMART PERIPHERAL DEVICES OF CONTROL AND EMERGENCY PROTECTION SYSTEMS FOR GROUND TESTING OF LIQUID-PROPELLANT ROCKET ENGINES

Volnukhin O.A., Liseykin V.A., Tozhokin I.A., Churin M.N. (FKP Research and test center of rocket and space industry, Peresvet, Moscow region, Russian Federation)

The work presents some developments in new generation of smart peripheral devices of control and emergency protection system for ground testing of liquid-propellant rocket engines.

Одним из направлений деятельности Научно-испытательного центра ракетно-космической промышленности (НИЦ РКП) является создание информационно-управляющих систем (ИУС) и систем аварийной защиты (САЗ) для стендовой отработки жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) и двигательных установок (ДУ) ракет-носителей (РН) и космических аппаратов. Только за последние 5 лет были разработаны и внедрены более двух десятков ИУС и САЗ на стендах НИЦ РКП. Системы обеспечили экспериментальную отработку ступеней РН «Союз-2-1б», «Союз-2-1в», «Ангара», ДУ космических аппаратов «Навигатор», «Фобос-Грунт», ЖРД на компонентах «кислород-керосин», «кислород-метан» и др.

Более десятка ИУС на стендах ОАО «КУЗНЕЦОВ», ОАО «Красмаш», КБХМ имени А.М. Исаева и др. обеспечивают отработку целого ряда серийных ЖРД ракет-носителей боевого и гражданского назначения, а также – разгонных блоков и космических аппаратов.

Системы управления и аварийной защиты постоянно совершенствуются. В настоящее время в НИЦ РКП идут работы по созданию систем нового поколения. Целью разработки является повышение вычислительной мощности, быстродействия, надёжности и расширение технических возможностей ИУС. Более десяти таких систем уже находятся в стадии опытной эксплуатации.

Стендовая ИУС может компоноваться из нескольких, решающих свои задачи подсистем, обеспечивая управление тысячами

элементов автоматики по сложным алгоритмам в едином, синхронизированном от глобальных спутниковых систем (ГЛОНАСС/GPS) цикле 10 мс.

В основе ИУС - высокопроизводительные контроллеры имеющие процессор - Nano ETX express (Z530 Intel Atom 1,6GHz/512MB-RAM/2GB-Flash) и интерфейсы: 3 Ethernet 1G; 4 USB 2.0 x 4; Slot PCI express; 4 Space Wire; 2 CAN; LVDS 18/24 бит; SATA; DVI, GPS.

Надёжность ИУС обеспечивается за счёт встроенных в её архитектуру аппаратно-программных средств резервирования (дублирование, троирование) и имитации объекта управления в режиме реального времени. Связь контроллеров с периферийными модулями ИУС осуществляется по интерфейсам космического назначения Space Wire.

Идеология, архитектура, технические решения, опыт работы ИУС и САЗ защищены десятком патентов, описаны в многочисленных статьях и монографиях [1].

Одно из перспективных направлений развития стендовых ИУС связано с разработкой интеллектуальных периферийных модулей. Наличие в составе таких модулей собственных процессоров позволяет решать задачи приема сигналов с датчиков и формирования управляющих воздействий на объект управления на нижнем уровне (без участия центрального контроллера), обеспечивая повышение надёжности и качества управления.

В докладе представлены последние разработки, непосредственно связанные с

задачами управления и регулирования параметров ЖРД при их стендовых испытаниях. А именно: управления электрогидравлическими сервоприводами (ЭГС) качания камер сгорания ЖРД; управления шаговыми двигателями для регулирования соотношения компонентов топлива и управления рулевыми двигателями; приёма, обработки и регистрации сигналов турбинных расходомеров и датчиков чисел оборотов вала ТНА.

Управление ЭГС осуществляется подачей тока на поляризованный электромагнит, который, в свою очередь, с помощью гидравлики обеспечивает отклонение камер сгорания. Основная проблема заключается в реализации требований циклограммы управления ЭГС при огневых стендовых испытаниях ЖРД. Типичная циклограмма включает в себя набор воздействий определённого типа: синусоидальные колебания тока различной частоты (от 0.1 до 30 Гц) и амплитуды (от -50 до +50 мА), линейно нарастающий ток, прямоугольные импульсы тока различной полярности и т.п. Поскольку ИУС принадлежит к классу дискретных систем, то изменение управляющего сигнала осуществляется с некоторым шагом. Ранее при решении данной задачи длительность шага определялась возможностями контроллера ИУС и составляла 500 мкс. Новая разработка позволила снять значительную нагрузку с контроллера, уменьшить шаг до 200 мкс и повысить точность воспроизведения управляющих сигналов.

Аналогичных преимуществ удалось добиться при решении задачи управления рулевыми ЖРД с помощью шагового двигателя. Новый интеллектуальный модуль обеспечивает формирование перечисленных выше воздействий (синус, линейный рост, импульс) путём подачи импульсов напряжения на обмотки шагового двигателя с чётко регламентированной последовательностью, длительностью и взаимной согласованностью фаз с максимальной скоростью до 600 шагов в секунду.

Модуль управления шаговыми двигателями для регулирования соотношения

компонентов топлива ЖРД аналогичен предыдущему. Только скорость и направление вращения шагового двигателя задаётся не циклограммой, а рассогласованием между требуемым и заданным значением расхода компонентов топлива. Максимальная скорость вращения имеет тот же порядок – 400 шагов в секунду.

Очень важной задачей для регулирования параметров двигателя и его аварийной защиты является надёжный приём сигналов турбинных расходомеров и датчиков чисел оборотов турбонасосных агрегатов. Простые методы измерений основаны на задании фиксированных порогов и подсчёте числа событий связанных с выходом за порог положительных и отрицательных полуволн сигналов датчиков, а также определении периода времени между первым и последним таким событием на интервале измерения. Недостаток метода состоит в выборе порога заведомо парирующего помехи, особенно на низких частотах, при которых сигнал от датчика находится на уровне единиц и десятков милливольт. Более продвинутое методы используют плавающий порог, который растёт или уменьшается в зависимости от амплитуды сигнала.

Наиболее помехозащищённым является измерение с помощью плавающего порога вольт-секундной площади сигнала. Данный способ показал свою эффективность при испытаниях различных изделий. Новая разработка добавила к существующему функционалу возможность регистрации и передачи по ЛВС в режиме реального времени значений измерения исходного сигнала с частотой 50 кГц, что немаловажно для диагностики дефектов турбинных расходомеров.

Библиографический список

1. Лисейкин В.А., Милютин В.В., Сайдов Г.Г., Тожокин И.А. Информационно-управляющие системы для стендовых испытаний ЖРД и двигательных установок. – М.: Машиностроение / Машиностроение-Полёт, 2012. 406 с.