

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ТЕСТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Н.А. Захаров, В.И. Клепиков, Д.С. Подхватилин (НПП «Дозор» ОАО «Концерн КЭМЗ»)

Рассмотрены особенности тестирования распределенных систем автоматического управления (РСАУ), в которых замкнутые контуры управления и регулирования наряду с традиционными аналоговыми связями содержат связи, выполненные на последовательных каналах информационного обмена. Описана структура проектно-компонуемого комплекса «Дозор», который обеспечивает как автономное тестирование отдельных компонент РСАУ, так и комплексные испытания системы в целом.

Ключевые слова: распределенная система управления, последовательный канал обмена, конвертор протоколов обмена.

Распределенные сетевые системы управления имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными централизованными системами, что создает условия для их широкого распространения в различных областях техники. Размещение локальных контроллеров (узлов сети) внутри датчиков и исполнительных устройств или в непосредственной близости от них обеспечивает существенное снижение массы систем и повышение их надежности [1]. Но применение РСАУ наряду с преимуществами создает также ряд новых, несвойственных централизованным системам проблем как в области их проектирования и анализа, так и в области их тестирования и испытаний.

Особенности построения сетевых распределенных систем автоматического управления (РСАУ) накладывают специфические требования на комплексы (аппаратуру и ПО) их тестирования и испытаний. В сетевой РСАУ ее динамические характеристики обеспечиваются как традиционными (аналоговыми) контурами регулирования, так и обратными связями, реализуемыми посредством последовательных коммуникационных каналов связи. В общем случае (рис. 1) РСАУ может содержать:

- традиционные «аналоговые» контуры (К1) регулирования, в которых информация с объекта управления (ОУ) в аналоговом виде поступает в управляющий контроллер (УК), а из него на ОУ также в аналоговом виде подаются сигналы управления;

• такие же аналоговые контуры регулирования (К2), выполненные на локальном контроллере (ЛК1), но управляющие сигналы (например, заданные значения по положениям, скоростям и т.д.) локальный контроллер получает по цифровой шине данных (ЦШД) от управляющего контроллера, в который по той же ЦШД возвращает параметры текущего состояния и диагностическую информацию, что образует «цифровой» контур управления (К3);

• полностью «цифровые» контуры регулирования (К4), в которых локальный контроллер (ЛК2) выполняет функции аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования, функции диагностики датчиков и исполнительных элементов объекта управления и функции обмена с УК по ЦШД;

• контуры смешанного типа (К5), когда локальный контроллер (ЛК3) выполняет функции концентратора информации с датчиков ОУ и переда-

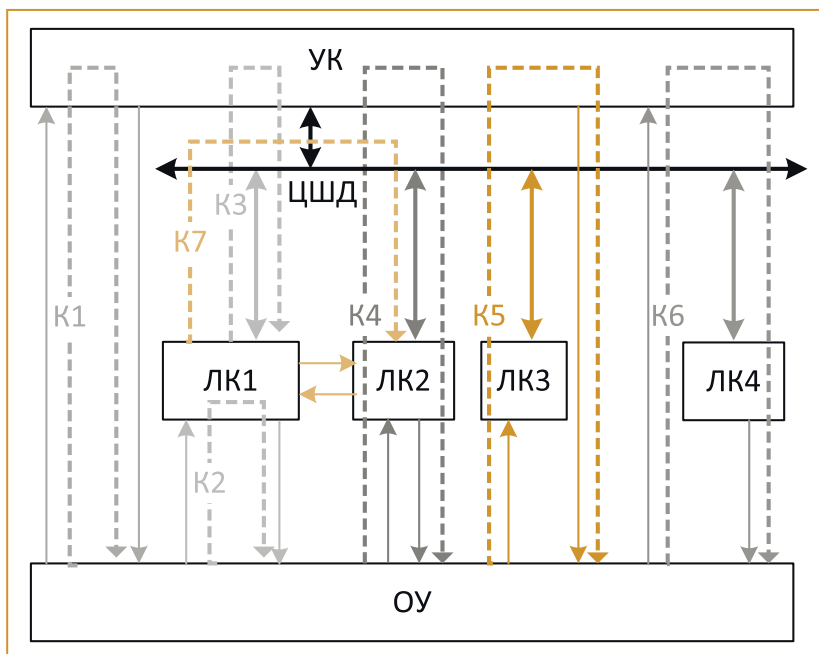


Рис. 1. Варианты организации управляющих, регулирующих и информационных контуров РСАУ, где ОУ – объект управления, УК – управляющий контроллер, ЛК1... ЛК4 – локальные контроллеры, ЦШД – цифровая шина данных, К1, К2 – аналоговые контуры регулирования, К3, К4 – цифровые контуры управления и регулирования, К5, К6 – смешанные контуры регулирования, К7 – информационный контур

чи этой информации в УК, а управляющие воздействия с УК подаются на ОУ в аналоговом виде;

- контуры смешанного типа (К6), когда локальный контроллер (ЛК3) выполняет функции управления группой исполнительных элементов ОУ в соответствии с информацией, полученной по ЦШД от УК, а прием данных с датчиков ОУ производится входными аналоговыми цепями УК,

- информационные контуры (К7), которые реализуют необходимые перекрестные (аналоговые или по ЦШД) связи между отдельными локальными контроллерами (ЛК1, ЛК2), минуя УК.

Наличие последовательных каналов обмена в контурах динамической системы управления делает процессы ее тестирования более сложными по сравнению с традиционной (централизованной) реализацией [2], так как каналы последовательного обмена оказываются включенными в замкнутые контуры управления и регулирования, и характеристики этих каналов (период обмена, задержки, джиттер и др.) оказывают непосредственное влияние на качество работы алгоритмов управления и регулирования. Кроме того, использование последовательных каналов, которые являются разделяемыми ресурсами PCAU, привносит дополнительные проблемы, связанные с потерями сообщений, с возможным искажением данных при передаче, с нарушением временной и информационной синхронизации контроллеров.

Выбор типа протокола может существенно упростить указанные проблемы, например, синхронно-временной протокол (СВП) обеспечивает [3] существенно лучшие показатели, чем такие протоколы, как CAN или Ethernet. Однако при комплексном тестировании системы (при использовании любых протоколов) необходима проверка ее реакции на специфические сбои и отказы последовательных каналов с целью выяснения не только того, как сработает тот или иной механизм защиты, но и того, как это скажется на качестве выполнения всеми контроллерами их основной задачи — управления и регулирования.

На основе рассмотрения вариантов организации управляющих, регулирующих и информационных контуров PCAU и с учетом изложенных особенностей использования последовательных каналов в НПП «Дозор» разработаны проектно-компонованный комплекс тестового оборудования и ПО «Дозор», которые обеспечивают как автономное тестирование отдельных компонент PCAU, так и комплексные испытания всей системы. Комплекс «Дозор» включает следующие основные компоненты:

- имитатор ОУ;
 - конвертеры протоколов: USB — ARINC-429; USB — Mil-1553; Ethernet — SpaceWire; USB — CAN; USB — СВП; USB — RS-232/422/485; USB — спецпротоколы; Ethernet — спецпротоколы;
 - анализатор частотных характеристик (ЧХ) PCAU.
- Имитатор ОУ является его электронной моделью, обеспечивающей:

- физическую имитацию электрических сигналов от датчиков (давления, терморезисторов, термопар, положений, частоты, вибрации, пламени, потенциометрических и релейных датчиков);

- физическую имитацию электрических нагрузок и динамического поведения исполнительных устройств (электромеханических, электрогидравлических, релейных);

- расчет в реальном времени математических моделей одного или нескольких ОУ с «замыканием» моделей на физические имитаторы датчиков и исполнительных устройств;

- формирование тестовых временных разверток сигналов;

- физическую имитацию сбоев и отказов датчиков и исполнительных устройств (обрывы, короткое замыкание, замиранья) в ручном или в автоматическом (с привязкой к процессам управления) режимах;

- электропитание управляющих и локальных контроллеров с физической имитацией отказов, провалов и забросов питания в ручном или в автоматическом (с привязкой к процессам управления) режимах;

- поддержку каналов связи: CAN, RS-485, ARINC-429, MIL-1553;

- связь с ПК по каналам USB, Ethernet;

- накопление и последующую обработку данных экспериментов на ПК с анализом точностей, задержек, шумов, частотных спектров;

- задание ручных и автоматических тестов (скриптовый язык задания тестовых сценариев);

- автоматическое формирование отчетов о тестировании;

- автоматическое проведение приемосдаточных испытаний систем управления.

Имитатор ОУ выполнен в 19” 6U крейте на восемь платомест, диапазон рабочих температур имитатора — 60...60 °С. Состав имитируемых датчиков и исполнительных устройств определяется проектными требованиями, например, один крейт может обеспечивать имитацию ОУ, содержащего:

- датчики: частоты — 4 ед., термопары — 4 ед., термосопротивления — 4 ед., давления — 10 ед., токовые — 4 ед., положения — 20 ед., потенциометрические — 4 ед., концевые выключатели — 16 ед.;

- исполнительные устройства: электрогидравлический преобразователь — 28 ед., дискретное исполнительное устройство — 20 ед.;

- каналы связи: CAN — 2 канала, RS-485 — канала, ARINC-429—2 передатчика + 6 приемников, MIL-1553—2 основных + 2 дублирующих канала.

Основные характеристики имитируемых датчиков приведены в таблице.

Программное обеспечение имитатора ОУ, реализующее математические модели объекта, датчиков и исполнительных устройств, работает с периодом счета 0,5 мс. Для построения моделей используется библиотека типовых элементов систем управления, таких как: усилитель, сумматор, усилитель с насы-

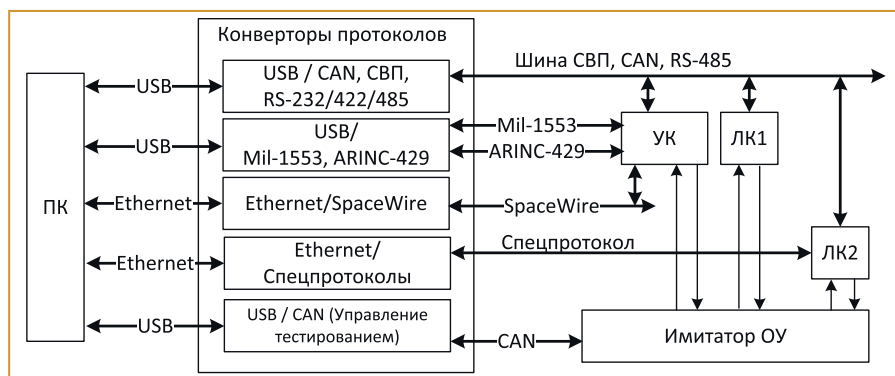


Рис. 2. Пример схемы тестирования PCAU с использованием оборудования «Дозор»

щением, зона нечувствительности, интегратор, интегратор с насыщением, люфт, апериодическое звено, а также модели более сложных элементов, таких как датчики, механические, гидравлические и газотурбинные приводы. Таким образом имитатор ОУ обеспечивает тестирование чисто аналоговых контуров управления и регулирования (контурсы К1, К2 на рис. 1).

Программное обеспечение управления тестированием и анализа данных реализовано на ПК. Для поддержки работы ПК с разнообразными каналами связи, которые содержит ОУ и его системы управления, комплекс «Дозор» включает набор конвертеров широко распространенных протоколов последовательного обмена, таких как CAN, ARINC-429, Mil-1553, SpaceWire, RS-232/422/485, СВП, а также конвертер специализированных протоколов, разрабатываемых по заказам сторонних организаций. Со стороны ПК конвертеры подключаются по каналам USB и Ethernet.

Конвертер протоколов USB — ARINC-429 поддерживает работу ПК по каналу USB двух передатчиков и шести приемников ARINC-429, конвертер USB — Mil-1553 обеспечивает работу по USB двух основных и двух дублирующих каналов Mil-1553. Конвертеры USB — CAN и USB — СВП поддерживают работу ПК по каналу USB с сетями до 64 абонентов, соответственно по протоколам CAN и СВП. Конвертер протоколов Ethernet — SpaceWire обеспечивает

подключение по каналу Ethernet (10/100 Мбит/с) четырех каналов SpaceWire (10...400 Мбит/с), двух каналов CAN 2.0 В и одного канала RS-422.

Конвертер специализированных протоколов выполнен в крейте 3U CompactPCI с 8-слотовой 32-битной объединительной платой с процессорным модулем CPIC-3970/655L/M4G фирмы ADLINK и платами 02F205-05 для установки двух мезонинных модулей. Логика требуемого специализированного протокола реализуется мезонинным модулем, выполненным на ПЛИС IGLOO, а конструкция крейта предусматривает относительно простую реализацию различных физических конфигураций сети (типы кабелей, трансформаторов, приемопередатчиков и т.д.). Один крейт обеспечивает параллельную работу до 32 каналов различных специализированных протоколов. Со стороны ПК конвертер работает по каналу Ethernet. Конвертер спецпротоколов дополнительно позволяет рассчитывать в реальном времени модели объектов, управляемых по цифровым контурам управления и регулирования (контурсы К3, К4 на рис. 1). Мощность используемого процессорного модуля позволяет в реальном времени просчитывать до 16 различных моделей как отдельных приводов, так и ОУ в целом.

В качестве примера использования оборудования «Дозор» на рис. 2 представлена схема тестирования PCAU, содержащая управляющий контроллер и два локальных контроллера (ЛК1, ЛК2), связанных системной шиной СВП. УК, ЛК1 и ЛК2 своими аналоговыми входами/выходами взаимодействуют с имитатором ОУ. Для УК обеспечивается поддержка протоколов Mil-1553, ARINC-429 и SpaceWire, для ЛК2 поддерживается работа по одному из спецпротоколов. Набор конвертеров протоколов обеспечивает взаимодействие ПК с тестируемыми контроллерами путем преобразования протоколов USB и Ethernet в требуемые контроллерами протоколы. Через отдельный конвертер USB/CAN ПК управляет режимами тестирования и режимами работы имитатора ОУ.

Таким образом, совместное использование имитатора ОУ и необходимого набора конвертеров обеспечивает тестирование на оборудовании «Дозор» всех, в том числе и смешанных (К5, К6 на рис. 1), вариантов организации контуров управления и регулирования в PCAU.

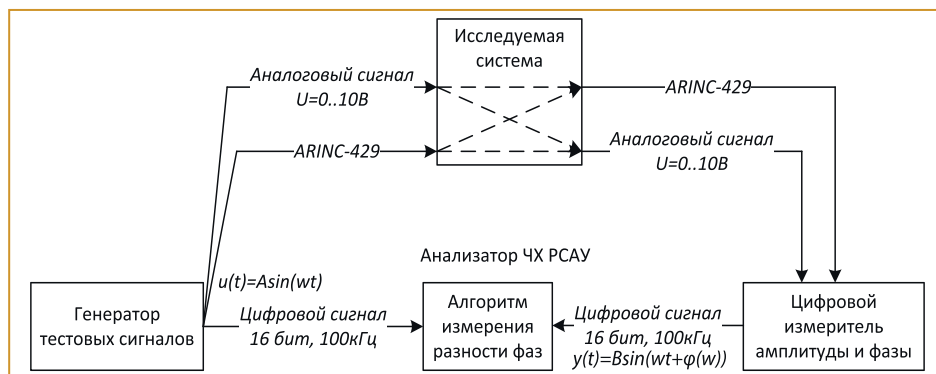


Рис. 3. Схема снятия ЧХ системы со смешанными каналами управления

При испытаниях РСАУ на стендах и реальных объектах управления возникает задача исследования реальных частотных характеристик как отдельных контуров управления объекта, так и РСАУ в целом. При этом необходимо учитывать, что в замкнутых контурах управления и регулирования различные входные/выходные и промежуточные сигналы могут присутствовать как в аналоговой и цифровой форме, так и в форме информации, содержащейся в сообщениях последовательных каналов обмена. Данную задачу в комплексе с описанными приборами выполняет блок «Анализатор ЧХ РСАУ». В состав анализатора ЧХ РСАУ входят:

- блоки измерения и генерации аналоговых сигналов;
- крейт анализатора ЧХ РСАУ;
- необходимые контроллеры интерфейсов, например, USB — ARINC;
- концентраторы USB и Ethernet (A10);
- источники питания оборудования анализатора.

Связь между блоками анализатора осуществляется по интерфейсу Ethernet. Связь между цифровым анализатором и управляющим ПК осуществляется по интерфейсу USB 2.0/3.0 и Ethernet.

Каждый блок измерения и генерации обеспечивает цифро-аналоговое и аналого-цифровое преобразование по пяти каналам с частотой 100 КГц на канал и разрядностью 16 бит. Питание блоков измерения и генерации обеспечивается по кабелю питания, проложенному совместно с линией передачи информации Ethernet, либо от бытовых розеток 220 В при их наличии. Наличие блоков измерения и генерации обусловлено большим расстоянием (до 100 м) между бортовыми блоками РСАУ и тестовым оборудованием и связанными с этим возможными искажениями сиг-

налов при их передаче в аналоговой форме. Передача сигнала в цифровой форме обеспечивается без потерь, и при таком способе подключения вносятся минимальные искажения в измеряемые аналоговые сигналы от бортовых блоков. Сами блоки измерения и генерации располагаются на минимально возможном расстоянии от источника сигнала (или его приемника).

При снятии ЧХ системы управления анализатор включается по схеме, приведенной на рис. 3.

Анализатор ЧХ обеспечивает:

- одновременную генерацию по 10 независимым каналам тестовых аналоговых сигналов постоянного тока напряжением 0...10 В (синусоида, ступенька, постоянный сигнал);
- одновременный прием 10 дифференциальных аналоговых сигналов постоянного тока напряжением 0...10 В;
- одновременную генерацию по 32 каналам цифровых сигналов по протоколу ARINC 429 со скоростью 100 кБ/с;
- одновременный прием восьми цифровых сигналов по протоколу ARINC 429 со скоростью 100 кБ/с;
- обработку регистрируемых сигналов, расчет АФЧХ и ЛАФЧХ, их отображение на экране монитора и вывод на печать.

Список литературы

1. *Клепиков В.И.* Отказоустойчивость распределенных систем управления. М.: «Золотое сечение». 2014. 392 с.
2. *Moeller A., Loewenhielm F., Brundin J., Nolin M., Engblom J.* Developing and testing distributed CAN-based real-time control systems using a single PC. CAN in Automation. 2005. pp. 8-15.
3. *Захаров Н.А., Клепиков В.И., Подхватилин Д.С.* Синхронно-временной протокол для распределенных систем управления // Автоматизация в промышленности. 2013. № 2.

Захаров Николай Анатольевич — канд. техн. наук, начальник отдела,
Клепиков Владимир Иванович — канд. техн. наук, заместитель руководителя по науке и новым технологиям,
Подхватилин Дмитрий Станиславович — начальник отдела научно-производственного подразделения «Дозор» ОАО «Концерн КЭМЗ».
 Контактный телефон (495) 640-09-47.
 E-mail nazakharov@npp-dozor.ru

17-18 апреля 2019

Научно-техническая конференция

«РЕМОНТ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ»

Москва, ОАО «ВТИ»

Эксплуатируемое оборудование тепловых электростанций имеет большой возраст и в значительной степени выработало свой парк ресурс. При дальнейшем его старении на первый план выдвигаются вопросы надежности электроснабжения и промышленной безопасности. С учетом современной структуризации отрасли, недостаточной численности и квалификации специалистов по наладке и обслуживанию электростанций, заметно снижается уровень эксплуатации генерирующего оборудования. В первую очередь отмечается, что качество ремонтов

энергетического оборудования на большинстве электростанций из года в год ухудшается, что приводит к снижению надежности и экономичности энергопроизводства.

В этой связи ОАО «ВТИ» и ООО «Диамех 2000» приглашает специалистов принять участие в конференции по проблемам ремонтов и технического обслуживания основного и вспомогательного оборудования электростанций для обсуждения актуальных вопросов и поиска их решения.

Тематика конференции, условия участия, важные даты — на сайте <https://clck.ru/FChXw>

Контактный телефон 8 (495) 137-77-70 доб. 15-40
 E-mail: seminar@vti.ru