

УДК: 681.2:629.13

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ АВИОНИКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

© 2013 А.Н. Коптев¹, В.А. Прилепский¹, И.В. Прилепский²

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

² ОАО «Авиаагрегат», Самара

Поступила в редакцию 02.12.2013

Статья посвящена актуальной проблеме математического и технического обеспечения процессов производства и эксплуатации аэрокосмической техники на основе новейших научных разработок, унифицированных контрольно-измерительных комплексов и графической программной среды Lab VIEW. Представлены технические данные и выполняемые функции основных модулей системы, характеристики и варианты исполнения и комплектации для решения различных научно-технических и производственных задач.

Ключевые слова: математические аспекты, контроль, диагностика, техническое состояние, коммутатор, приборная панель.

Общая организация контроля состояния сложных бортовых систем первоначально базируется формально на основе информации об объекте, который как правило реагирует на входные воздействия.

Для представления таких объектов авторами введено сложное пространство-структура, состоящее из различных видов подпространств-структур, комбинаторная технология и тензорная методология рассматриваются как удобный набор взаимно и однозначно самосогласованных математических формализмов, предназначенных для решения уравнений, определяющих связь между подпространствами-структурами-преобразованиями и компонентами. В качестве фундаментального уравнения используется зависимость между: сильными компонентами графа $G=(A_0, F)$ объекта или системы ЭТО ЛА, представляемыми порожденными подграфами $G' = \{A^0 - R(a_k^0) \cap Q(a_k^0)\}$, где A^0 – множество точек, F – отображение множества A_0 в A^0 , $R(a_k^0)$ – достижимые множества точек A^0 , $a_k^0 \in A^0$, $Q(a_k^0)$ – контрдостижимое множество и конечными ориентированными простыми цепями

$$C_v = \sum_{v=1}^{\gamma} m_v a_v^i, \text{ которые представляют систему}$$

координат:

Коптев Анатолий Никитович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации авиационной техники. E-mail: eat@ssau.ru

Прилепский Василий Андреевич, кандидат технических наук, доцент. E-mail: 2pr@inbox.ru

Прилепский Илья Васильевич, кандидат технических наук, начальник отдела комплексных систем управления производством. E-mail: oksup@aviaagregat.net

$$U\{A^0 - R(a_k^0) \cap Q(a_k^0)\} = \sum_{\eta} \left\{ \sum_{v=1}^{\gamma} m_v a_v^0 \right\}. \quad (1)$$

Предложенная зависимость, рассмотренная в разных подпространствах-структурах, введённых выше для представления структур объектов и систем ЭТО, формирует систему уравнений

$$U\{A^{0(q)} - R(a_k^{0(q)}) \cap Q(a_k^{0(q)})\} = \sum_{\eta} \left\{ \sum_{v=1}^{\gamma} m_v a_v^{0(q)} \right\}, \quad (2)$$

где q – индекс данного подпространства-структуры.

Микропроцессорная автоматизированная система контроля авионики (МАСКА) включает унифицированный системный коммутатор в составе оптимального сочетания контрольно-измерительного комплекса РХИ, сетевого оборудования вычислительной CAN-сети, комплекта локальных интеллектуальных коммутаторов, реализованных на основе современных электронных компонент, измерительных средств и программного обеспечения, функционирующие в графической программной среде Lab VIEW под управлением операционной системы WINDOWS.

В системе МАСКА реализована «безбумажная» технология, которая предусматривает использование базы данных предприятия или эксплуатирующей организации, а также возможность создания и ведения базы данных в составе автоматизированного рабочего места (АРМ) инженера-технолога и программного обеспечения МАСКА. Система имеет гибкую структуру и многовариантность комплектации технических и программных средств, в зависимости от решения поставленных задач. На рис. 1 представлен вариант структурной схемы системы, предназначенной для реше-

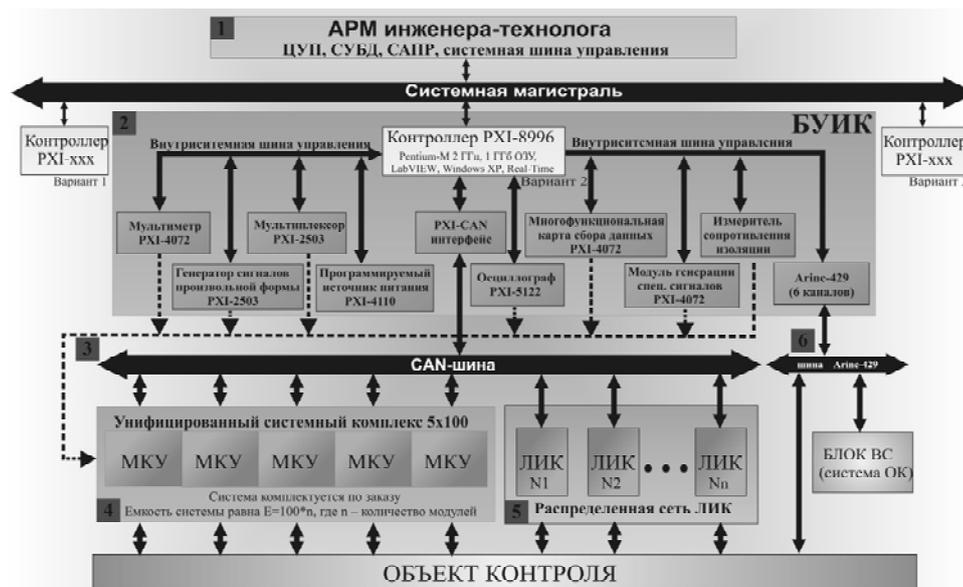


Рис. 1. Вариант структурной схемы и комплектации системы МАСКА

ния широкого круга таких задач как:

- контроль логической структуры, качества проводимости и сопротивления изоляции электрических цепей, диагностика неисправностей и прогнозирование технического состояния кабельно-жгутовых изделий в цехе-изготовителе, токораспределительных сетей (фидерных схем) в цехе окончатальной сборки на борту и в эксплуатации;

- тестовый контроль, контроль функционирования, диагностика неисправностей и прогнозирование технического состояния бортовой автоматике и авионики при изготовлении и эксплуатации ВС;

- тестовый контроль, контроль функционирования, диагностика неисправностей и прогнозирование технического состояния блоков и готовых изделий бортовых комплексов электрооборудования при изготовлении и эксплуатации ВС, комплектуемые приборостроительными и др. заводами;

- моделирование и имитация неисправностей или критических режимов, а также анализ динамики поведения блоков или сложных комплексов на стимулирующие воздействия.

АРМ инженера-технолога предназначен для формирования и хранения конструкторских и технологических документов в электронном виде, а также для обновления, ведения и пополнения хранимой информации и является одной из основных структурных компонент информационного обеспечения производственных задач монтажно-сборочного производства ВС и РКТ и эксплуатирующих организаций аэрокосмической техники. Она составляет основу функционирования конструкторско-технологического и эксплуатационного обеспечения производства, контроля и эксплуатации бортовых комплексов авионики.

АРМ обеспечивает решение следующих задач:

- 1) формирование схем и таблиц соединений для проектирования контроля, диагностики и прогнозирования технического состояния ОК, а также для проектирования технологических процессов технического обслуживания ОК ВС и РКТ;

- 2) формирование таблиц соединений физических электрожгутов или выделенных структур;

- 3) формирование заказных спецификаций по комплектующим изделиям и материалам для сборочно-монтажного производства и в эксплуатации;

- 4) проектирование стыковочных карт для подключения электрожгутов и токораспределительных сетей к системам контроля;

- 5) проектирование программ контроля электрожгутов и отдельных систем токораспределительной сети для контроля на борту в цехе окончатальной сборки и АТБ и др. функции, указанные в описании ПО.

Блок управления, измерения и контроля БУИК реализован на базе стандарта PXI в операционной среде Windows с приложением прикладного графического программирования среды LabVIEW, используемой в системе МАСКА в качестве стандартного инструмента для проведения измерений, анализа их данных и последующего управления приборами и исследуемыми объектами.

Назначение:

- централизованное управление процессами коммутации, измерения, обработки информации и взаимодействия функциональных блоков системы МАСКА;

- измерение параметров электрических цепей;
- обеспечение взаимодействия различных протоколов обмена, в частности, RS-232, USB, CAN-протокол, ARINC-429 и др.;

- обеспечение напряжением питания всех

функциональных блоков системы.

В состав БУИК входят:

1. Шасси – PXI-1050 PXI/SCXI (комбинированное) 8/4 модулей.
2. Контроллер NI PXI-8196.

Контроллер NI PXI-8196 – представляет собой самый высокопроизводительный из доступных на сегодняшний день контроллеров реального времени. Его процессор Pentium M 760 2.0 ГГц позволяет увеличить среднюю производительность систем на 18% по сравнению с предыдущим лидером отрасли.

В состав унифицированного системного комплекса (УСК), представленного на рис. 2, входят:

- модуль коммутации и управления (МКУ);
- модуль коммутации стимулирующих сигналов (МКС);
- модуль коммутации эталонных значений конструктивных параметров электрических цепей (МКЭ);
- модули других различных функциональных

назначений по техническим условиям поставки Заказчика.

УСК предназначен для:

- коммутация электрических цепей сложных устройств в соответствии с программой контроля для определения логики функционирования и конструктивных параметров объекта контроля;
- управление и предварительная обработка процессов контроля по подключенным разъемам объекта контроля к МКУ;
- формирование стимулирующих сигналов различных форм и уровней и коммутация их по выбранным адресам в ОК;
- имитация конструктивных параметров электрических цепей и коммутация их по выбранным адресам в ОК;
- формирование адресов ответных сигналов объекта контроля для обработки измерительной информации и диагностики дефектов.

Локальные интеллектуальные коммутаторы (ЛИК) – рис. 3, предназначены для организации распределенной структуры системы контроля,

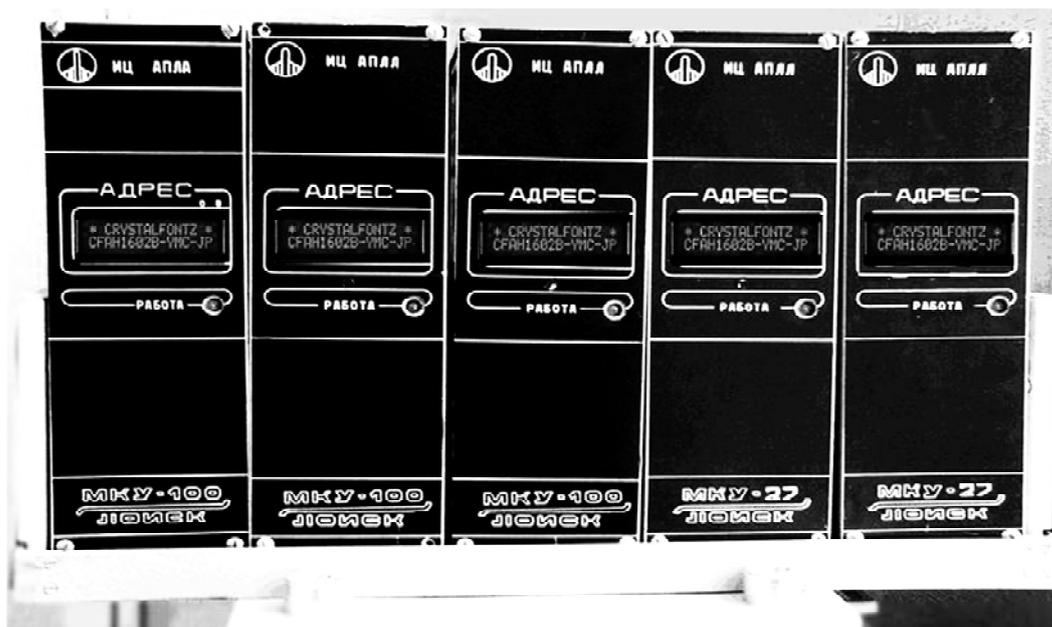


Рис. 2. Унифицированный системный комплекс УСК

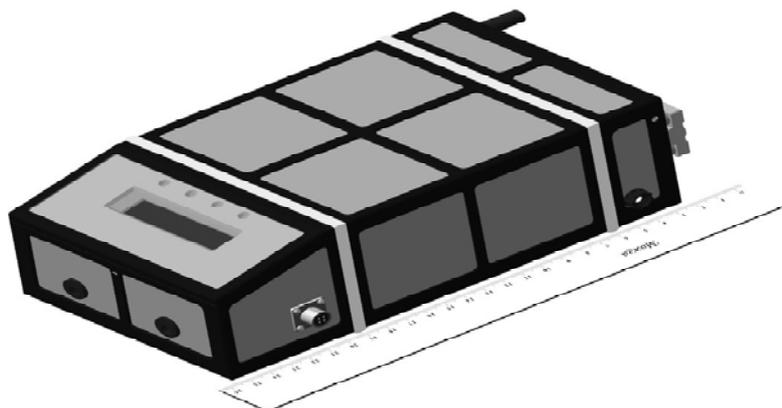


Рис. 3. Локальный интеллектуальный коммутатор ЛИК

которые разнесены на расстояния по подключаемым разъемам ОК с помощью коротких переходных жгутов или без таковых и обеспечивают:

- контроль электрических связей логической структуры бортовой токораспределительной сети, а также кабельно-жгутовых изделий на плавовых столах или на борту в собранном виде;
- контроль проводимости электрических цепей для оценки их качества;
- контроль сопротивления изоляции бортовых систем электрических цепей.

На рис. 4 представлен вариант распределенной структуры системы МАСКА с радиоканалом CAN-сети для контроля токораспределительных сетей на борту ВС или аналогичных объектов, например, на борту корабля или РКТ.

Каналы по ARINC-429 используются для передачи цифровых данных между элементами и блоками систем авиационной электроники. На бортах летательных аппаратов, гражданских и военных, до 75% цифрового межсистемного обмена приходится на каналы интерфейса ARINC-429,

таким образом, этот интерфейс является основным связующим звеном в системах авиа электроники.

Структура программного обеспечения системы МАСКА представлена на рис. 5, которая включает в себя совокупность программных подсистем, обеспечивающих ведение и коррекцию базы данных, автоматизацию проектирования информационных массивов, управление и обработку контрольно-измерительной информации и формирование протоколов контроля, диагностики и прогнозирования технического состояния объектов контроля.

Система управления базой данных (СУБД) и программное обеспечение (ПО МАСКА) предназначена для автоматизированного ведения базы данных и обеспечивает решение следующих задач:

- подготовку и ввод данных по номерам изделий, а также коррекцию данных с учетом текущих изменений и доработок;
- автоматизированное формирование рабочих файлов для контроля и диагностики монтажа

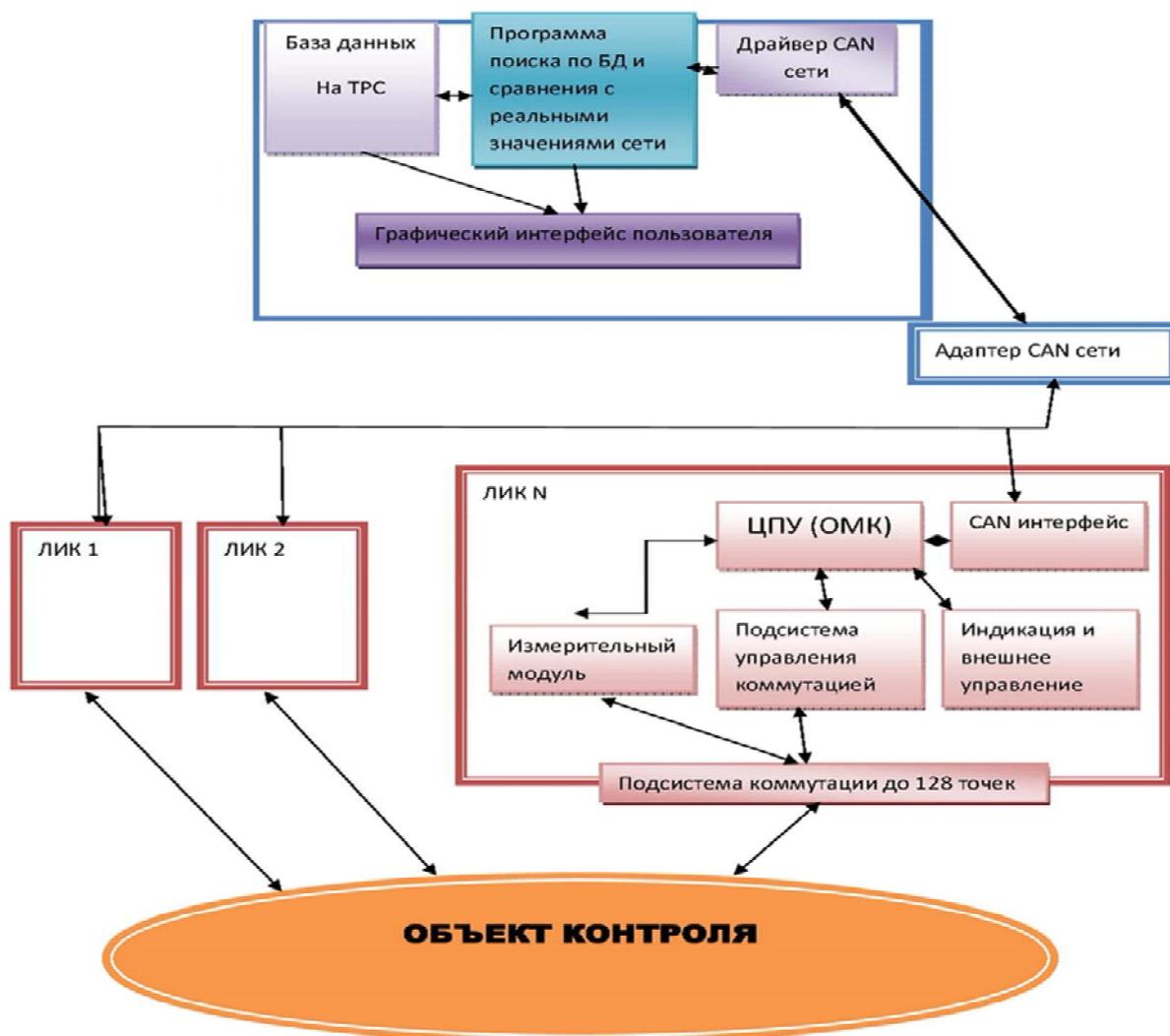


Рис. 4. Вариант распределенной структуры системы МАСКА для контроля токораспределительных сетей и кабельно-жгутовых изделий на борту ВС

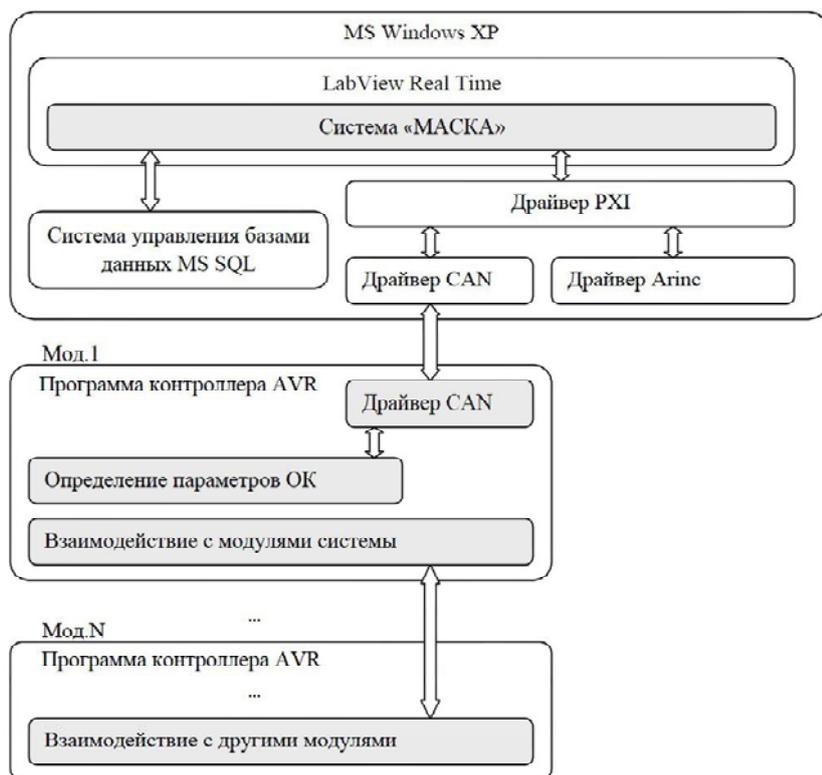


Рис. 5. Структура программного обеспечения системы МАСКА

жа электрической сети по следующим идентификаторам: по номерам позиций и/или по маркировки провода и/или по сборочным единицам и номерам изделий и/или по системам и/или др. признакам, если это необходимо;

- автоматизированный расчет активного сопротивления электрической цепи с учетом сечения и длины ее проводников и переходных сопротивлений промежуточных и внешних соединителей (клеммных монтажных колодок, болтовых соединений, промежуточных и выходных разъемов и т.п.) для контроля качества проводимости электрических цепей;

- автоматизированное проектирование стыковочных карт и программ контроля для сформированных рабочих файлов;

- автоматизированное проектирование программ управления и контроля монтажными операциями на борту;

- управление, загрузку локальных контроллеров, обработку контрольно-измерительной информации и формирование протоколов по результатам контроля;

- управление процессами монтажа на борту с пооперационным контролем монтажных соединений в распределительных коробках, клеммных, болтовых и прочих соединениях, при использовании специального программного обеспечения.

Сетевое программное обеспечение предназначено для организации информационного обмена в распределенной структуре системы контроля токораспределительных сетей и электросборок.

Драйверы системы МАСКА прошиты в ПЗУ каждого модуля системы и обеспечивают физическую, логическую и программную совместимость взаимодействия всех функциональных элементов в общей структуре системы МАСКА.

Тестовое программное обеспечение выполняет тестирование системы на различных уровнях:

- тестирование точек коммутации;
- тестирование точек коммутации с контролем - технологическим жгутом;
- тестирование сопротивления изоляции коммутаторов УСК и ЛИК.

Инструментальная структура приборной панели управления системы МАСКА реализована в программной графической среде Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (Lab VIEW), с помощью которой можно создавать приложения, используя графическое представление всех элементов алгоритмов контроля функционирования, диагностирования, моделирования и прогнозирования технического состояния ОК.

На практике для различных вариантов систем МАСКА разрабатывается своя панель управления, наиболее в полной мере отвечающая требованиям конкретного варианта системы. На рис.6 представлена панель управления системы МАСКА для контроля электросборок.

Функционально приборная панель системы МАСКА состоит из трех частей, выстроенных по вертикали, каждая часть из которых содержит:

- первая функциональная часть по вертика-

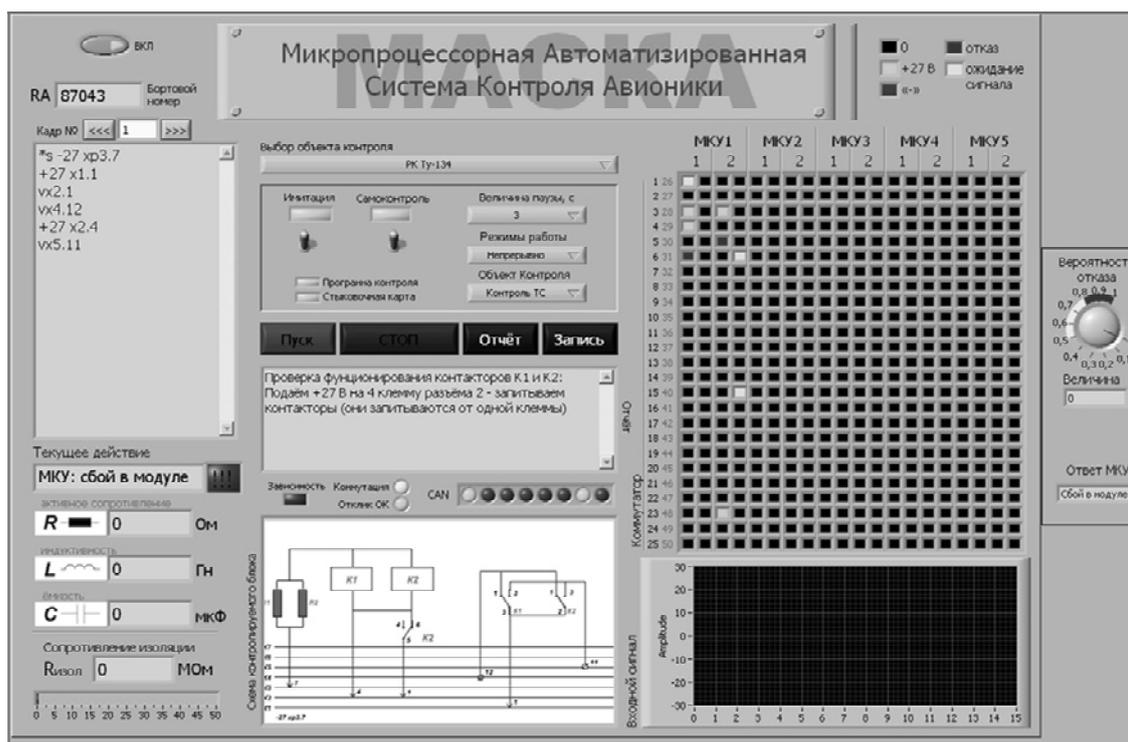


Рис. 6. Унифицированная панель управления системы МАСКА для контроля электросборок

ли панели управления представляет входную информацию и стимулирующие воздействия на объект контроля:

«Вкл/Выкл. МАСКА», «Разработчик», «Программа контроля», «Входной стимулирующий сигнал» и пр.;

- вторая часть панели представляет все элементы управления взаимодействия системы, загрузку системы решаемыми задачами, установку режимов работы, состояние ОК в текущий момент времени контроля и пр. функции по управлению системой и ОК: «Вход в систему», «Контроль», «Режим работы системы МАСКА», «Режим контроля», «Режим имитации контроля», «Выбор объекта контроля», «Выбор объекта имитации», «Тест», «Тестирование», «Режим тестирования», «Режим имитации тестов», «Состояние схемы контролируемого объекта»;

- третья часть панели представляет работу и состояние коммутаторов, наличие стимулирующих воздействий, форму и уровень ответных сигналов, и др. информацию по выходным параметрам ОК: «Состояние коммутатора», «Выходной контролируемый сигнал» и пр.

Таким образом, панель разбита на три информационных составляющих: о взаимодействии входных воздействий на объект контроля в виде программы контроля и характеристик стимулирующих сигналов, режимов работы системы МАСКА и состоянии схемы контролируемого объекта в текущий момент времени, состояние коммутатора и характеристику контролируемого сигнала.

Но такое функциональное разделение полей панелей управления является рекомендуемым и по согласованию с пользователем системы МАСКА могут быть реализованы различные варианты панелей управления, в зависимости от требований Заказчика.

Аппаратно-программный комплекс МАСКА, реализующий локальную вычислительную сеть интеллектуальных средств на базе новых CAN – технологий с применением перспективных контрольно-измерительных комплексов международного стандарта PXI и унифицированных коммутационных систем, функционирующие под управлением операционной системы WINDOWS, представляет собой легко осваиваемый инструментальный по решению всех возникающих задач контроля, диагностики технического состояния и функционирования объектов авионики, измерения различных физических параметров, генерации сигналов различных форм и амплитуд для воздействия на ОК, а также может быть использован для виртуального и реального моделирования различных процессов, как электрической, так и другой физической природы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микропроцессорная автоматизированная система контроля авионики МАСКА: отчет о НИР (заключ.): № гос. регистрации 01200701841; рук. А.А. Контев; исполн. В.А. Прилепский и др. Самара. 2009. 72с.
2. Пат. 2377585 Российская Федерация, МПК G01R31/

02. Автоматизированная система контроля монтажа, параметров электрических цепей и диагностики неисправностей сложных устройств электроаппаратуры и токораспределительных сетей / *Прилепский*

В.А., Коптев А.Н., Прилепский И.В.; Заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "2ПР". – №2008114722/28; заявл. 14.04.08; опубл. 20.10.09.

**MATHEMATICAL ASPECTS AND MEANS
OF AUTOMATION CONTROL AND DIAGNOSIS OF AIRCRAFT AVIONICS**

© 2013 A.N. Koptev¹, V.A. Prilepskiy¹, I.V. Prilepskiy²

¹Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov
(National Research University)

²"Aviaagregat" LtD, Samara

Article is devoted to the problem of mathematical and technical support for the processes of production and maintenance of aerospace technology based on the latest scientific developments, unified control and measurement systems and graphical program LabVIEW. We show the technical data and functions of the main modules of the system, features and options both performance and configuration to solve a variety of scientific, technical and production problems.

Keywords: mathematical aspects, control, diagnostics, technical condition, switch, dashboard.

Anatoly Koptev, Doctor of Technics, Professor, Head of Aircraft Maintenance Department. E-mail: eat@ssau.ru
Vasiliy Prilepskiy, Candidate of Technics, Associate Professor. E-mail: 2pr@inbox.ru
Ilya Prilepskiy, Candidate of Technics, Head of Integrated Production Control Systems Department. E-mail: oksup@aviaagregat.net