

**МОДУЛЬ КОММУТАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ МКУ СИСТЕМЫ «МАСКА»  
КАК НОВЫЙ ШАГ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ БОРТОВОГО  
КОМПЛЕКСА ТОКОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ**

© 2013 А.А. Зайцев

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

Поступила в редакцию 02.12.2013

В статье автор приводит анализ статистики отказов токораспределительных систем воздушных судов и существующих проблем их контроля и диагностики. В качестве решения перечисленных проблем дано краткое описание разработанной в НИЛ-36 СГАУ микропроцессорной автоматизированной системы контроля авионики, в частности одной из ее составляющих - модуля коммутации и управления. Ключевые слова: токораспределительная сеть, контроль, диагностика автоматизированная система диагностики, микроконтроллер, реле.

В состав оборудования самолета входит большое число потребителей электрической энергии. Надёжность работы этих потребителей во многом зависит от стабильности параметров питающего напряжения. Таким образом, преобладающее влияние на безопасность полётов оказывает надёжность и правильность функционирования системы электроснабжения самолёта.

Одним из основных элементов системы распределения электрической энергии является электрическая сеть. Непрерывное увеличение числа и установленной мощности потребителей электрической энергии на летательных аппаратах (ЛА), растущие требования к бесперебойности их питания обусловили значительное усложнение конфигурации электрических сетей, увеличение их массы и протяженности проводов. Так, на самолете Ил-86 протяженность проводов составляет 300 км, а их масса 2600 кг.

Рассмотрим статистику отказов системы электроснабжения на примере самолета АН-124 авиакомпании Волга-Днепр. Диаграмма распределения отказов представлена на рис. 1.

Как видно из диаграммы, наибольшее число отказов связано с отказами коммутационной аппаратуры, обрывами проводов вторичной распределительной сети и нарушение изоляции. Если рассматривать только токораспределительную систему без учета источников электроэнергии, то доля отказов элементов системы распределения от общего числа отказов составит 47 % (рис. 2). И можно сказать, что похожий диапазон 50-60% характерен для всех типов воздушных судов.

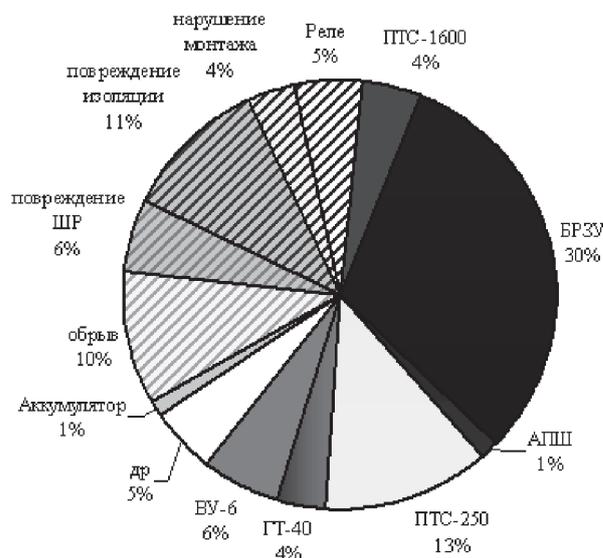


Рис. 1. Диаграмма распределения отказов системы электроснабжения самолета АН-124 за 1995-2006 г, авиакомпании «Волга-Днепр»

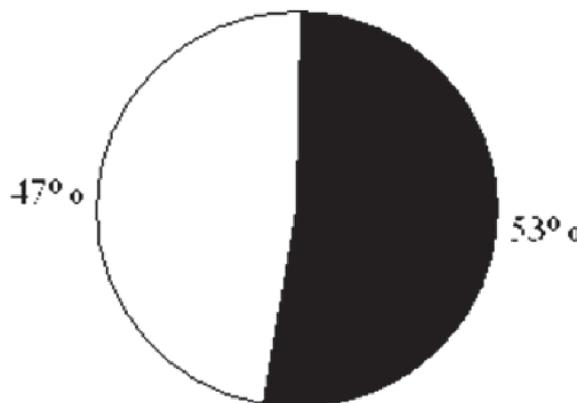


Рис. 2. Соотношение числа отказов системы распределения от всех отказов СЭС

Зайцев Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники. E-mail: nil-36@mail.ru

Производственный опыт показывает, что наиболее частыми неисправностями при эксплуатации ЛА и его техническом обслуживании (ТО) являются обрывы, ошибки монтажа (перепутывание фаз), ложные замыкания. Если перепутывание является исключительно ошибкой монтажа, то причины ложных перемычек могут различными – уменьшение сопротивления изоляции проводников в результате ее износа, попадания влаги или из-за случайных повреждений, полученных при ТО.

Дефекты выявляются при включении систем под ток, что часто приводит к выходу из строя дорогостоящего бортового оборудования. Распределительные коробки, электрощитки могут иметь до нескольких сотен электрических контактов для подключения внешних цепей, поэтому ручной контроль таких изделий представляет весьма трудоемкую операцию. Обнаружение и диагностика дефектов на борту неавтоматизированным способом требует значительных временных затрат и высокой квалификации персонала. Выявление и устранение дефектов составляет еще большую трудоемкость. Пропуск дефекта на самолете, переданном в эксплуатацию, может обойтись еще более тяжелыми последствиями.

Достигнутая путем многократного резервирования высокая общая надежность системы электроснабжения, сопровождается снижением эксплуатационной надежности и, как следствие, ростом эксплуатационных затрат. Статистика показывает, что процесс контроля состояния с оценкой качества токораспределительных систем и функционирования бортовых электросборок, ввиду функциональной сложности и большого объема электрических связей, элементов и измеряемых параметров, является одним из наиболее трудоемких видов. По существующему технологическому процессу проверка системы производится в статическом режиме с помощью тестеров и фазоуказателей, что при современном развитии технических средств, мягко говоря, архаично. Надежность проверки, естественно, во многом зависит от «человеческого фактора» и времени затраченного на контроль, так как имеется большое количество неравномерных и нерегулярных проверок, выполняемых вручную человеком.

Становится очевидным, чтобы гарантировать эксплуатационную надежность технического обслуживания и прогнозирование наработки на отказ с определением гарантированных сроков службы в сложившихся условиях необходимо исключить максимально человеческий фактор в этих вопросах и возложить все на технические и программные средства современной вычислительной техники.

В настоящее время контроль токораспределительных систем автоматизированным спосо-

бом не проводится из-за отсутствия технических и программных средств. Это выдвигает необходимость создания системы контроля, удовлетворяющей требованиям, которые диктует современный уровень развития систем летательных аппаратов.

На основании вышеизложенного можно сформулировать общие требования к системе контроля. Они следующие:

- уменьшенные массогабаритные показатели;
- гибкость архитектуры построения для удобства дальнейшей модернизации системы;
- наличие как встроенного «интеллектуального управления», так и удобного интерфейса сопряжения с компьютером; наличие энергонезависимой памяти для хранения результатов проверок;
- возможность моделирования работы бортовых систем, работающих в протоколе “ARINC – 429”.

Базовой системой для решения этих задач является проблемно-ориентированная интегрированная система контроля «ПОИСК», созданная в инженерном центре «Автоматизация производства летательных аппаратов» Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева и внедренная на Ульяновском авиационном промышленном комплексе (ныне ЗАО «Авиастар-СП»), которая обеспечивает контроль правильности выполнения электромонтажа, контроль функционирования изделий электрооборудования с имитацией всех параметров и режимов, адекватных условиям полета. «ПОИСК» была спроектирована по магистрально-модульному принципу, имеет гибкую структуру технических и программных средств, легко адаптируется на решение различных задач и имеет возможность мобильной реконфигурации на различные варианты включения в свою структуру специальных модулей, приборов и других технических средств. Однако задачи экспертизы качества и технического состояния изделий и прогнозирования наработки на отказ для системы «ПОИСК» не ставились, хотя структура системы позволяет расширить свои возможности для решения подобных задач.

Современные электронные компоненты и приборы отечественных и зарубежных производителей позволили спроектировать технические средства, обладающие более высокой надежностью, компактностью исполнения и, обеспечивающие не только контроль монтажа и функционирования авиационного электрооборудования, но и в целом смоделировать и провести эксперименты по определению качества и прогнозированию срока работоспособности изделия с ис-

пользованием сетевых структур и интеллектуальных коммутаторов.

Проект разработки микропроцессорной автоматизированной системы контроля авионики МАСКА является продолжением серии работ по созданию интегрированного автоматизированного производства и технического обслуживания электротехнического оборудования летательных аппаратов и является новой модификацией системы «ПОИСК». Проект представляет новые подходы к решению задач автоматизации производства и технического обслуживания, которые базируются на применении методов и средств искусственного интеллекта, и предусматривает разработку комплекса унифицированных модулей на основе микроконтроллеров, объединенных CAN-интерфейсом в сетевую структуру, современных электронных компонент, измерительных средств и программного обеспечения для решения ниже сформулированных задач:

- контроль функционирования авионики;
- контроль монтажа на соответствие таблице соединений;
- контроль и измерения через внешние соединители параметров двухполюсников (контроля цепей на соответствие значения сопротивления, не превышающего 20 Ом;
- контроль наличия и полярности диода, зашунтированного низкоомной обмоткой реле;
- измерения величин сопротивления, емкости и индуктивности);
- контроля реле времени;
- контроля величины сопротивления изоляции разобращенных цепей;
- выдача информации о несоответствии контролируемых параметров требованиям технической документации;
- подключение к цифровой магистрали бортовой сети летательного аппарата, использующей протокол ARINC – 429, и выполнения функций автоматических проверок функциональных блоков бортовых систем на наличие сигналов на контрольных разъемах.

Система рассчитана на автономную эксплуатацию, а также имеется возможность управления от внешнего ПК, имеющего модуль сопряжения по CAN- интерфейсу или RS-232.

Система контроля «МАСКА» состоит из базового блока, некоторого числа коммутаторов, внешнего измерительного комплекса и персонального компьютера.

Объектом контроля (ОК) является бортовой комплекс токораспределительных систем и их компонентов (электрожгуты, распределительные коробки, электрощитки, пульты управления и т.п.), электрифицированные системы и системы пилотажно-навигационного навигационно-

го комплекса ЛА, выделенного в виде системы, топологической структуры по перечню позиций или другим признакам, отдельной сборочной единицы, блока, электрожгута, компоненты и прочих выделенных зон, имеющих выходы на разъемные или клеммные соединители.

Модуль коммутации и управления (МКУ) предназначен для:

- управления воздействием на объект контроля стимулирующими напряжениями +27В(ОК) или «ОБЩ»(ОК) для непосредственной коммутации их на определенные точки электрических цепей многотактных устройств в соответствии с программой контроля от ЭВМ;
- определения логики функционирования и конструктивных параметров объекта контроля приема ответных сигналов из объекта контроля;
- дистанционного подключения к объекту контроля внешних средств измерения;
- формирование адресов ответных сигналов объекта контроля, обработки полученных результатов с последующей выдачей в персональный компьютер для диагностики дефектов.

Подача сигналов на определенные точки объекта контроля обеспечивается с помощью кроссировочных кабелей, изготавливаемых для каждой электросборки индивидуально.

МКУ обеспечивает проведение следующих проверок:

- контроль правильности внутреннего монтажа ОК;
- контроль функционирования ОК;
- контроль сопротивления изоляции разобращенных цепей;
- контроль проводимости проводника;
- контроль наличия диода в цепи с параллельным включением индуктивности;
- контроль схемы соединений на соответствие заданной;
- контроль электрических параметров ОК (R, L, C, U~, U=) при наличии соответствующих внешних измерителей.

В результате анализа поставленных задач были определены основные функциональные блоки модуля МКУ (рис. 3):

а) Центральное вычислительное устройство (ЦВУ) является ядром модуля. Оно предназначено для обмена данными с ЭВМ и управления функциональными узлами модуля. В качестве центрального вычислительного устройства выбран микроконтроллер фирмы ATMEL AT90CAN128.

К достоинствам AT90CAN128 можно отнести следующее: он обладает развитой системой портов ввода/вывода (6 параллельных портов 8 бит и один 5 бит) при малогабаритном исполнении корпуса (TQFP64), 128 Кб перепрограмми-

руемой флэш-памяти, высокое быстродействие, наличие встроенного CAN-контроллера, 32 регистра общего назначения, удобная развитая система команд.

б) Блок сопряжения с локальной сетью (БС) – позволяет реализовывать двунаправленный обмен данными между ЦВУ, ЭВМ и другими модулями системы по последовательному каналу.

в) Ячейка. Схема ячеек идентичны. Каждая из них состоит из четырехразрядного регистра с усилителем по схеме Дарлингтона на каждом из выходов (рис. 4). Выходы регистра связаны с твердотельными реле для подключения ячейки к шинам +27В(ОК), Общ (ОК), шина земли измерения и электромеханическим реле (в варианте исполнения с возможностью измерения сопротивления изоляции объекта контроля) для переключения ячейки с коммутации стимулирующих сигналов на режим измерения.

В качестве коммутационных элементов использованы оптоэлектронные реле фирмы “International Rectifier” PVG612. Основные преимущества перед обычными электрическими реле:

- большое количество циклов надежного срабатывания (более  $10^8$  против  $10^5$ );
- малое переходное сопротивление замкнутого контакта 0,15 Ом;
- малые габариты при максимальном протекающем токе 4 А;
- широкий диапазон управляющих напряжений, с возможностью управления непосредственно (без преобразователей) логическими уровнями ТТЛ и КМОП;
- малые потребляемые токи.

С целью реализации функции измерения сопротивления изоляции разобщенных цепей было решено применить реле PVU414 несмотря на значительное переходное сопротивление в 27 Ом



Рис. 3. Функциональная схема модуля МКУ системы «МАСКА»

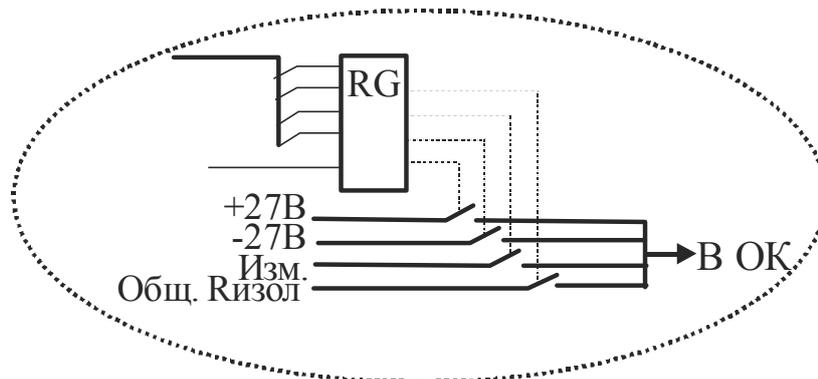


Рис. 4. Упрощенная внутренняя схема ячейки коммутационного поля модуля МКУ системы «МАСКА»

(что несущественно в схеме опроса и измерении  $R_{\text{изол.}}$ ). Этот тип реле обеспечивает более высокое сопротивление изоляции  $10^{11}$  Ом против  $10^9$  Ом, чем и обоснован их выбор.

Коммутационное поле обеспечивает подключение каждой (из 100 имеющихся в модуле) точки объекта контроля к шинам +27В, Земля или шине измерительных средств.

г) Схема формирования адреса ячейки (СФАЯ) организована по матричному принципу и выполняет функцию преобразования параллельного двоичного кода, соответствующего номеру ячейки коммутационного поля, непосредственно в адрес выбранной ячейки для коммутации к одной из указанных шин.

д) Схема контроля ответного адреса (СКОА) реализует как функции самоконтроля, т.е. проверки срабатывания ячеек, так и формирование адреса ячеек на которые пришел ответный сигнал и позволяет вводить в порт микроконтроллера данные о срабатывании каждой из 100 ячеек в виде параллельного восьмиразрядного кода.

Параллельно с опросом адреса МКУ устанавливает полярность ответных сигналов (+27В (ОК) или Общ. (ОК)).

Определение полярности ответного сигнала производится в следующей последовательности:

1. Производится опрос точек, подключенных к шине +27В (ОК) (множество  $x_{\text{п}}$ ).

2. Производится опрос точек, имеющих потенциал как +27В (ОК), так и «общ» (ОК). (множество  $x_{\Sigma}$ ).

3. Вычисляя разность множеств  $x_{\text{п}}$  и  $x_{\Sigma}$ , контроллер МКУ получает адреса точек, имеющих потенциал «общ» (ОК). (множество  $x_{\text{м}}$ ).

Получив результаты опроса в виде двух множеств  $x_{\text{м}}$  и  $x_{\text{п}}$ , МКУ проверяет наличие в указанных множествах всех адресов стимулирования, и при позитивном результате, вычитая из множеств  $x_{\text{м}}$  и  $x_{\text{п}}$  указанные адреса стимулирования и сравнивая полученную разность с набором выходных точек, указанных в программе контроля, делает заключение о правильности работы проверенного узла объекта контроля (кадра программы контроля). Кадр программ контроля считается нормально отработанным, если на всех этапах опросов и проверок не было отрицательных результатов. В случае отсутствия ожидаемых или появления лишних ответных адресов сбоя в системе контроля, соответствующая информация передается в ЭВМ по CAN-интерфейсу.

В перечисленных функциональных частях схемы модуля МКУ за основу выбрана быстродействующая КМОП логика. Ввиду того, что зарубежные аналоги более доступны на рынке электронных компонентов, а также выпускаются в

корпусах для поверхностного монтажа (SOIC), поэтому предпочтение отдано им и спецификация элементной базы переведена на элементную базу зарубежных производителей.

е) Схема индикации обеспечивает визуализацию оператору результатов самоконтроля (исправен/отказ), текущих режимов работы (Master/Slave), и другой служебной информации на при помощи многоцветных светодиодов вынесенных на переднюю панель.

ж) Органы управления представляют собой клавиши, позволяющие осуществлять такие функции как принудительный сброс программы, запуск теста самоконтроля и т.д.

з) Блок питания обеспечивает элементы схемы модуля МКУ необходимыми стабилизированными напряжениями постоянного тока. Питание модуля МКУ и объекта контроля осуществляется от одного источника. Это стало возможным благодаря применению DC/DC конвертеров фирмы Traco Power TEN10 с гальванической развязкой входного и выходного напряжения. Модули TEN10 выбраны исходя из расчета максимальных потребляемых токов элементами МКУ. Так, один модуль выдает напряжение +5В для питания логики и оптореле, а другой двуполярное напряжение  $\pm 12$ В для SAN-трансивера, электромеханических реле и для формирования уровня -24В схемы опроса точек имеющих потенциал земли (точка +12В связана с шиной ОБЩ. (ОК)).

На случай короткого замыкания в ОК плюсовая шина питания разведена на плате управления на 2 цепи, одна из которых запитывает DC/DC конвертеры и соответственно элементы модуля МКУ, а вторая через сменный предохранитель на корпусе питает реле подачи стимулирующих сигналов +27В в ОК. Эта цепь также заведена на вход диодной оптопары, выход которой связан с портом микроконтроллера. По наличию этого логического сигнала микроконтроллером контролируется питания ОК при включении каждой точки монтажного кадра. Кроме того, дополнительно на заднюю панель вынесен светосигнализатор.

На базе описанного комплекса оборудования системы «МАСКА» в учебно-исследовательской лаборатории СГАУ разработан и введен в учебный процесс учебный стенд по курсу «Системы электроснабжения летательных аппаратов». В лабораторной работе студентам предлагается ознакомиться с системой и ее возможностями а также составить программу контроля для проверки реальной распределительной коробки, предусматривающей возможность искусственно ввода неисправностей в схему.

Разработанный модуль МКУ можно считать

очередным этапом развития оборудования автоматизированных средств контроля и диагностики бортовых комплексов токораспределительных систем и их компонентов, в частности многотактных устройств и электросборок. При реализации схемы модуля применены самые современные компоненты, а его функциональные возможности удовлетворяют требованиям, предъявляемым сегодня к контрольно-проверочной аппаратуре.

Применение МКУ в составе комплекса «МАСКА» на эксплуатирующихся и авиаремонт-

ных предприятиях позволит значительно сократить время на проверку технического состояния объектов контроля, снизить трудоемкость работ и значительно повысить объективность и достоверность результатов контроля за счет максимального участия человеческого фактора.

Кроме того, круг возможного применения модуля не ограничивается авиационным оборудованием, а может успешно применяться для контроля технического состояния электросборок любых других транспортных средств от автомобилестроения до ракетно-космической техники.

**MODULE OF SWITCHING AND MANAGEMENT OF “MASKA” SYSTEM  
AS NEW STEP IN DEVELOPMENT OF TECHNICAL MEANS OF AN ASSESSMENT  
OF AN CONDITION OF AN ONBOARD COMPLEX OF CURRENT-DISTRIBUTING  
SYSTEMS AND THEIR COMPONENTS**

© 2013 A.A. Zaitsev

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

In article author provides the analysis of statistics of refusals of current-distributing systems of aircrafts and existing problems of their control and diagnostics. As the solution of the listed problems the short description of the microprocessor automated monitoring system of the avionics developed in NIL-36 SSAU, in particular is given to one of its components - the switching and management module.