

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ УНИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

В.П. Дробинов, Л.Д. Яцко, Л.Л. Яцко,

ОАО «НТК «Электронприлад», г. Киев, Украина

В статье рассматриваются проблемы и комплексный подход к их решению, которые возникли при реализации электронной системы автоматического управления (САУ).

В настоящий момент разработчики и изготовители авиационных двигателей все чаще ставят перед разработчиками электронных САУ задачу построения надежных систем с полной ответственностью (типа FADEC).

При отказе такой САУ исключена возможность непосредственного управления двигателем. С целью резервирования в них используют два или более независимых каналов управления со своими источниками питания, преобразователями сигналов от датчиков, системой встроенного контроля, памятью и т.д. Применение САУ с полной ответственностью обеспечивает снижение затрат не только организациям - эксплуатантам двигателей, но и разработчикам газотурбинных двигателей (ГТД). Такие системы более простые и легкие, чем гидромеханические. Их можно модифицировать и совершенствовать на всем этапе жизненного цикла двигателя.

Модернизация гидромеханической системы является очень дорогостоящим процессом, и может быть оправдана только значительным улучшением характеристик двигателя. При исследовании двигателей для улучшения их работоспособности и технических характеристик, как правило, изменение аппаратуры САУ не требуется, а изменяют лишь программное обеспечение. Это позволяет исследовать любые улучшения характеристик двигателя, какими бы незначительными они не были.

Как показывает практика, незначительные программные изменения в системе управления можно проводить прямо на стенде от 1-го до 2-х дней в про-

цессе испытаний, а более значительные, связанные с введением дополнительных каналов измерения, управлением дополнительными исполнительными механизмами (ИМ), т.е. требующие аппаратной доработки блоков, - в течение 2-х - 3-х недель. Электронные САУ типа FADEC позволяют значительно сократить программу испытаний двигателя и самолета.

В связи с возросшей конкуренцией в области самолетостроения существенно сокращается время на разработку САУ. Если на их разработку для самолета АН-70 в 90-х годах отводилось от 3-х до 5-ти лет, то сейчас на разработку, отладку и доводку систем самолета АН-140 устанавливают срок от 2-х до 3-х лет.

Целью последней разработки АНТК «Антонов» является изготовление конкурентного, отвечающего самым последним европейским стандартам самолета АН-148. Разработка и построение самого самолета, а также всего комплекса бортовой авионики, разработка специально для этого самолета ВСУ МС2 со своей САУ, глубокая модификация САУ МДУ (практически новая разработка) и проведение всего комплекса испытаний должно быть осуществлено за 1,5 – 2 года. Заказчики САУ (ЗМКБ «Прогресс» и ОАО «Мотор-Сич») постоянно ужесточают требования по точности, чувствительности, помехозащищенности и скорости вычислений измерительных каналов.

Все это происходит на фоне постоянно увеличивающегося количества заказов на разработку и модернизацию существующих систем управления и диагностики авиационных двигателей. Учитывая сложившуюся ситуацию, специалисты ОАО НТК «Электронприлад» разработали типовую функциональную схему, на основе которой строят системы управления и системы контроля двигателей, используя хорошо зарекомендовавшие

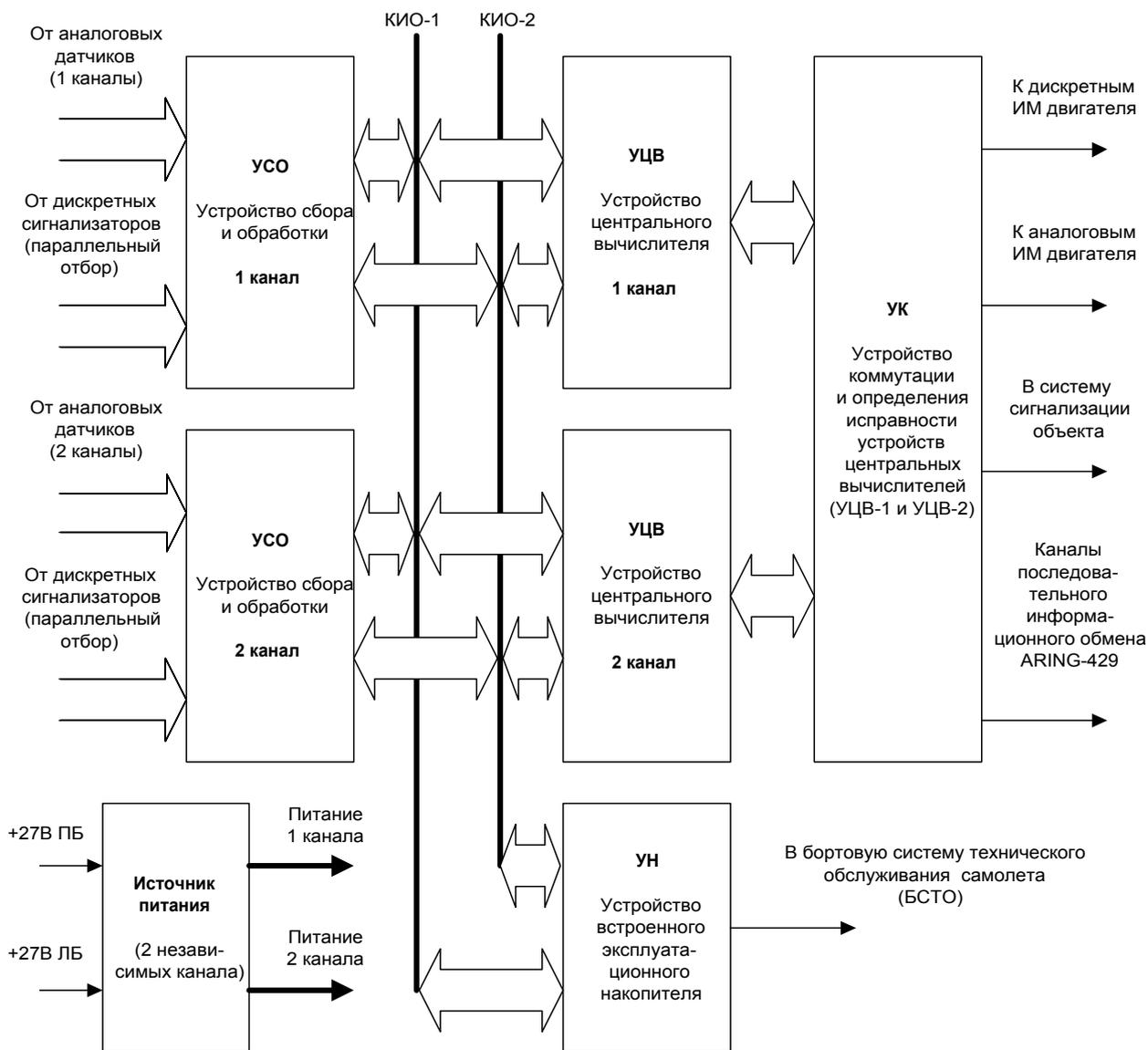


Рисунок 1 Структурная схема электронной САУ с полной ответственностью

себя схемные решения, ранее примененные в разработках на современных самолетах, которые успешно эксплуатируются в настоящий момент.

Типовая структурная схема электронной САУ с полной ответственностью приведена на рис. 1.

Задачи, решаемые САУ, можно условно разделить на три больших класса.

1-й класс:

- сбор и обработка информации от аналоговых датчиков и дискретных сигнализаторов;
- фильтрация от сбойных значений, дребезга контактов и т.д.;
- приведение измеренного электрического значения параметра к физической величине с помощью

интерполяционных формул и допусковый контроль полученных значений;

- контроль целостности линии связи с датчиками и сигнализаторами;
- внутренний контроль исправности каналов преобразования и измерения.

2-й класс:

- решение алгоритмов управления и контроля двигателя;

3-й класс:

- формирование команд управления исполнительными механизмами, определение исправности ИМ и целостности линий связи с ними;
- обмен по каналам информационного обмена с взаимодействующими системами.

Существует еще ряд менее ответственных задач - «сервисные» функции САУ, которые можно решать в фоновом режиме на остатке ресурса процессоров или выделять в отдельные одноканальные устройства, такие как встроенный эксплуатационный накопитель, подсчет наработки двигателя и САУ, количества запусков и времени выбега роторов, электронный паспорт двигателя и т.д.

Микропроцессоры, доступные в настоящий момент к применению, не позволяют реализовать на одном устройстве все три класса задач, так как программа, реализующая такой набор функций, будет чрезвычайно сложна, объемна и, как следствие, ненадежна. Отладка программного комплекса займет значительное время и после внесения даже незначительных корректировок потребуются полный повторный цикл верификации всего программного обеспечения (ПО), что в конечном итоге будет постоянно увеличивать сроки и стоимость разработки.

В рассматриваемой модели САУ предлагается разрабатывать два типа целевых процессорных устройств.

Первый тип - для решения задач сбора (1-й класс задач), второй – для реализации функций управления и обмена (3-й класс задач).

После оценки объема задействованных ресурсов на целевых микропроцессорах рассматривают следующие моменты - задачи решения алгоритмов решать на более свободном вычислителе или распределять их между вычислителями таким образом, чтобы минимизировать межпроцессорный обмен по внутренней шине. Например, система БСКВ-436 (бортовая система контроля и вибрации двигателя Д-436 самолета АН-148) должна обеспечивать одновременный прием информации от трех систем: БУК-148, ЭСУ-436, БКР-436 по каналу ARING-429 на частоте 100 кГц и паузами между посылками 4-8 Т (практически полный трафик шины) и сама должна выдавать информацию также на частоте 100 кГц с паузой 4-6 Т. Это значит, что запрос на обслуживание прерывания от приемников RZ будет возникать практически каждые 80 мкс (время обработки одного прерывания от 6

до 10 мкс). При таком «рваном» режиме работы процессора нельзя говорить о параллельном решении алгоритмов контроля двигателя, поэтому задачи сбора и обработки алгоритмов контроля двигателя решают с помощью устройства сбора и обработки информации (УСО), а устройство центрального вычислителя (УЦВ) в реализации БСКВ-436 выполняет функцию коммуникационного процессора и решает все «сервисные» задачи.

В блоке управления и контроля ВСУ МС2 – БУК-МС2, наоборот, объем задач сбора и обработки информации значителен. Блок осуществляет прием информации от 12-ти аналоговых датчиков каждым каналом УСО. Для обеспечения качества регулирования некоторые параметры измеряют с частотой 100 Гц (с учетом математической фильтрации), а параметры, участвующие в алгоритмах антипомпажной защиты, вычисляют с частотой до 200 Гц. Учитывая, что объем задач формирования команд управления и внешнего обмена относительно невелик, решение алгоритмов управления и регулирования расходом топлива и управление служебным компрессором реализовывают на устройстве УЦВ.

Таким образом, предлагаемая структурная схема САУ для реализации указанных выше задач является очень гибкой.

Рассмотрим коротко основные функциональные узлы САУ.

УСО – устройство сбора и обработки информации, предназначено для решения следующих основных задач:

- 1) сбор информации от аналоговых датчиков;
- 2) питание аналоговых датчиков;
- 3) фильтрация результатов измерений от сбойных значений;
- 4) допусковый контроль результатов измерений;
- 5) временное усреднение результатов измерений;
- 6) приведение результатов измерений к физическим величинам;
- 7) определение целостности линий связи с датчиками (КЗ / Обрыв);

8) определение исправности внутренних каскадов преобразования сигналов датчиков;

9) выдача информации в устройство УЦВ в соответствии с внутренним протоколом обмена.

Структура устройства УСО может быть достаточно разнообразна для различных реализаций. Например, в блоке БУК-МС2, кроме мощного 16-ти разрядного целевого вычислителя с CISC архитектурой, в состав УСО входит несколько «быстрых» 8- разрядных микроконтроллеров, решающих частные задачи с высокой частотой.

УЦВ - устройство центрального вычислителя, предназначено для решения следующих основных задач:

1) формирование дискретных команд управления ИМ двигателя (агрегаты зажигания, стартер, воздухозаборник, заслонка отбора воздуха, пожарный кран и т.д.);

2) формирование аналоговых команд управления ИМ двигателя (расходом топлива, входным направляющим аппаратом, служебным компрессором, клапаном перепуска воздуха и т.д.);

3) информационное взаимодействие по каналу ARING-429;

4) определение исправности собственных цепей и устройств блока;

5) контроль рассогласования параметров, получаемых по внутреннему каналу межплатного обмена от устройств УСО.

УК-МС2 – устройство коммутации, основными функциями которого являются:

1) определение исправности устройств УЦВ-1 и УЦВ-2 и коммутация на выходы блока цепей от исправного канала (алгоритм определения исправного канала является “know-how” фирмы и защищен патентом);

2) преобразование (усиление) команд управление из уровней КМОП в уровни +27В/Корпус;

3) преобразование аналоговых команд к виду, требуемому исполнительным механизмом.

В состав устройства УК входят:

– автомат защиты силовой турбины двигателя (АЗСТ) – независимое устройство, имеющее собственный источник питания;

– “**выделенные**” датчики оборотов.

Для соединения с остальными устройствами блока используют минимальное количество связей, что надежно обеспечивает аварийный останов двигателя при превышении оборотов ротора силовой турбины критического значения (т.е. если АЗСТ сработало и отключило двигатель, значит, блок неработоспособен).

УН – устройство встроенного эксплуатационного накопителя. Является вспомогательным устройством, которое выполняет сервисные функции. Его устанавливают в изделиях при необходимости. Основные задачи:

1) реализует функции встроенного эксплуатационного накопителя блока;

2) выполняет функции реализации счетчика ресурса, времени наработки, времени выбега роторов, счетчика запусков или циклов двигателя и т.д.

Устройство можно использовать в качестве мощного сопроцессора для решения емких вычислительных задач типа “преобразование Фурье”, а также в системе, где требуется большой объем промежуточных математических вычислений.

УП - устройство питания. Это двухканальное устройство, которое работает в диапазоне питающих напряжений от +10 до +36 В. Осуществляет фильтрацию выбросов питающего напряжения выше 42 В и формирует на выходе вторичных источников напряжения +5 В (1,5 А), +15 В (0,5 А), минус15 В (0,5 А). При длительном превышении указанных токов, защита определяет ситуацию ОТКАЗ ПОТРЕБИТЕЛЯ, формирует сигнал +27 В – КАНАЛ ОТКЛ и отключает потребителя в триггерном режиме.

Рассмотрим схему информационных потоков внутри САУ, приведенную на рис. 2.

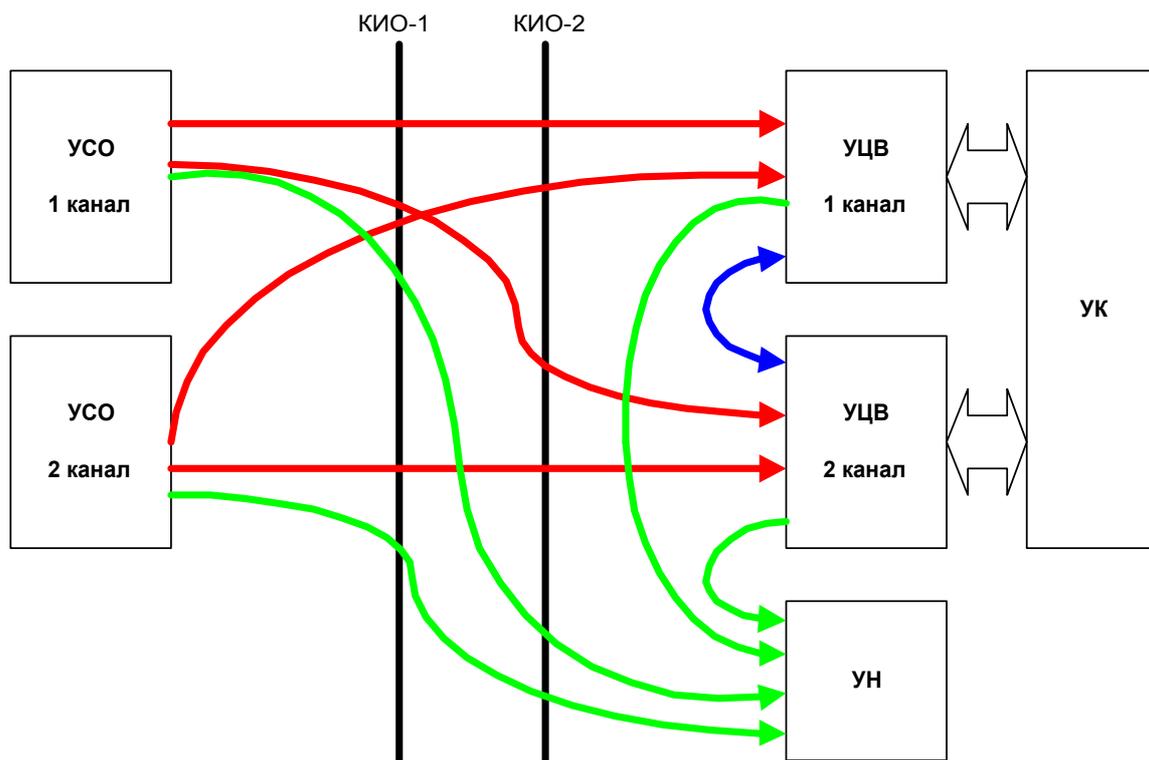


Рисунок 2 Схема информационных потоков

Одним из узких мест электронных САУ является внутренний канал межплатного обмена (далее по тексту – КИО). Если реализовывать двухканальную САУ с одним внутренним каналом КИО, то автоматически из названия такой системы необходимо исключать слово “двухканальная”, получится “условно резервированная” система. Физический интерфейс, при помощи которого реализован внутренний КИО, не так важен.

В микропроцессорах часто применяют встроенные последовательные каналы информационного обмена (SPI, UART, I2C и т.д.), используют параллельную шину (И41, ISA) или реализовывают внутренний КИО на основе стандартных бортовых интерфейсов (ARINC-429, MIL-STD-1533).

При цифровой передаче непрерывных сообщений действие помех в канале приводит к тому, что вместо переданной кодовой комбинации, соответствующей квантованному отсчету сообщения y_i , принимается другая кодовая комбинация, соответствующая уровню квантования y_j , т.е. происходит аномальная ошибка. Ее значение

$$\epsilon_{ан} = y_i - y_j.$$

Достоверность передачи непрерывных сообщений в цифровых системах обычно характеризуется или вероятностью возникновения аномальных ошибок $P_{ан}$, или приведенной среднеквадратичной $\delta_{ан}$ погрешностью, обусловленной действием аномальных ошибок. Значение возможной ошибки приема зависит от типа канала, физического интерфейса и вероятности ошибки при приеме символа, поэтому при выборе канала обмена необходимо учитывать вероятность возникновения сбоя в приеме/передаче информации и разрабатывать алгоритмические методы выявления и парирования сбоев без потери качества работы системы.

Например, для блока управления гидравлическим тормозом БУГТ-1 в качестве КИО применен интерфейс SPI. Разработан протокол обмена, учитывающий формирование контрольной суммы, битов четности, номера кадра, подобрана частота обмена с учетом 30% резервирования трафика обмена.

Однако блок БУГТ-1 является стендовым оборудованием и такое решение неприемлемо для бортовых систем, т.к. физический интерфейс канала SPI реали-

зован в виде однопроводной однополярной линии связи уровнями КМОП невысокой надежности при быстрой передаче информации последовательными посылками.

В каждом конкретном случае необходимо просчитывать трафик внутренней КИО, рассматривать вопросы надежности и помехозащищенности, разрабатывать алгоритмы выявления ошибки и делать расчет времени парирования ошибки.

При проведении заводских испытаний блока необходимо проводить испытания на восприимчивость канала обмена к внешним электромагнитным помехам, испытания на формирование внешних электромагнитных воздействий блоком с различными режимами работы внутренней КИО (максимальный трафик на предельной частоте, штатный трафик на достаточной для обмена с учетом 50% резерва частоте).

Например, при проведении заводских испытаний блока БТИ-140 (система топливоизмерения самолета АН-140) было выявлено превышение электромагнитных помех, формируемых блоком. В результате анализа и проведенных экспериментов было выявлено, что “фонит” внутренняя параллельная шина И41 из-за применения слишком мощных шинных формирователей и неправильно рассчитанной нагрузки.

Заключение

Система, построенная по приведенной структурной схеме, имеет хорошие показатели функциональной надежности, легко адаптируется при постоянно корректирующихся требованиях к вычислительным алгоритмам.

Применяя унифицированную схему, можно вести параллельную разработку систем, подобных по классу решаемых задач. При этом основные силы разработчиков будут сосредоточены на тщательной проработке алгоритмов, выделяя минимальные средства и силы на разработку аппаратной части.

Автоматический режим встроенного самоконтроля в соответствии с требованиями ОСТ 1 00698-88, реализованный в системе, обеспечивает полноту контроля блока от 95 до 98% (расчет проводился по методи-

ческим указаниям МУ 108-84 МАП). Расчетные показатели надежности приведены в таблице.

Таблица

Наименование показателя	Обозначение	Значение показателя	
		Серийный образец	Опытный образец
Средняя наработка на отказ, ч, не менее	То	10000	1000
Средняя наработка на отказ и повреждение, ч, не менее	Тс'	5000	500
Назначенный ресурс, ч	Тр.н	80000	5000
Назначенный срок службы, год	Тс.н	25	10

По приведенной выше и рассмотренной структурной схеме в настоящий момент разрабатывают системы БСКД-27М (модернизированная система контроля двигателя Д-27), БСКВ-436 (бортовая система контроля двигателя и контроля вибрации двигателя Д-436), БСКВ-18 (бортовая система контроля вибрации двигателя Д-18), БУК-МС2 (блок управления и контроля ВСУ МС2). Указанная структурная схема системы контроля и управления двигателем защищена патентом Украины. Действие патента распространяется в России и Беларуси.

Литература

1. Дядюнов А.Н., Онищенко Ю.А., Сенин А.И. Адаптивные системы сбора и передачи аналоговой информации.– М.: Машиностроение, 1998.–288 с.
2. Дубовой Н.Д. Автоматические многофункциональные измерительные преобразователи.– М.: Радио и связь, 1989.– 256 с.

Поступила в редакцию 02.07.03

Рецензенты: канд. техн. наук, директор Головного предприятия по обработке полетной информации И.В. Мишарин, г. Киев; нач. бригады В.П. Ищук, АНТК им. О.К. Антонова, г. Киев.