

УДК 629.05; 681.3.02

DOI 10.53403/9785951505170_2021_26_2_234

Бортовые вычислительные системы повышенной надежности и стойкости

Приведены структурные схемы и характеристики как уже разработанных, так и вновь разрабатываемых многофункциональных бортовых вычислительных систем. Рассмотрена перспективная отечественная элементная база. Показаны составные части систем в виде электронных модулей.

Н. В. Сильянов*

Введение

Вычислители перспективных летательных аппаратов как объекты сфер ответственного применения должны удовлетворять высоким требованиям по надежности и должны сохранять работоспособность в жестких условиях эксплуатации (климатических, механических, при воздействии специальных факторов). При использовании в бортовых электронно-вычислительных машинах (БЭВМ) импортной элементной базы возникают риски, связанные как с отсутствием гарантий по надежности или стойкости элементов, так и с быстрой сменой типов элементов, малым сроком гарантии, отсутствием гарантии поставки в течение длительного срока эксплуатации изделий, а также другими возможными ограничениями.

В настоящее время на отечественной элементной базе в НИИИС разработано несколько вариантов вычислителей. В качестве примера в табл. 1 приведены их некоторые характеристики. Вариант 1 является базовым, впоследствии на его основе были построены двухканальные варианты 2 и 3. Вариант 1 имеет одноканальную структуру. Для повышения сбоеустойчивости предусмотрен внешний по отношению к процессору сторожевой таймер, сброс которого осуществляется сигналом исправности от процессора по результатам периодического выполнения программы самодиагностики. Также применяется специализированное ОЗУ (СпецОЗУ) для хранения промежуточных результатов вычислений, которые могут быть использованы в случае перезапуска системы.

* Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова», г. Н. Новгород.

© Радиолокация. Результаты теоретических и экспериментальных исследований. Кн. 1 / Под ред. В. Д. Ястребова. М.: Радиотехника, 2018. С. 175–181.

В работе [1] отмечается, что для обеспечения отказоустойчивости и стойкости может применяться принцип холодного резервирования. Подразумевается, что микросхемы резервного канала менее подвержены неблагоприятным воздействиям, когда находятся в выключенном состоянии.

Проведенные в работе [2] исследования также показывают возможность дублирования замещением (холодный резерв) в случае, если надежности или стойкости одноканальной БЭВМ недостаточно. Однако, следует отметить, что применение дублирования не гарантирует увеличения стойкости к неблагоприятным воздействиям в два раза. Степень увеличения стойкости, по-видимому, определяется комплексом факторов: стойкостью и прочностью элементной базы, характером воздействий, программой переключения резерва.

Таблица 1

Характеристики разработанных вычислителей

Характеристика	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Число каналов	1	2	2
Процессор (архитектура, частота, МГц)	MIPS-I (FPU) 33	MIPS-I (FPU) 24	MIPS-I (FPU) 24 MCS-196 10
ПЗУ, Мбайт ОЗУ, Мбайт СпецОЗУ, Кбайт	1 1 32	1 1 32	1,5 1,5 32
Интерфейсы	2 МКПД 2 RS-232 7 вх. РК 6 вых. РК (300 мА) JTAG (BoundaryScan)	2 МКПД 2 RS-232 8 вх. РК 8 вых. РК (30 мА) JTAG (BoundaryScan)	2 МКПД 2 RS-232 8 вх. РК 8 вых. РК (30 мА) JTAG (BoundaryScan)
Габариты, мм	175 × 164 × 62	170 × 150 × 62	170 × 150 × 80
Масса, кг	1,45	1,25	1,5

Вычислители вариантов 2 и 3 имеют двухканальную структуру, реализующую принцип дублирования замещением (холодный резерв) [3, 4]. В [5, 6] показана возможность построения трехканальных БЭВМ с резервированием замещением. В качестве примера на рис. 1 приведена структура вычислителя варианта 2. Все вычислители построены по модульному принципу. Указанный вариант содержит модули вычислительные (МВ), модули интерфейсные (МИ), модули питания (МП). Структурная схема варианта 3 отличается от приведенного рисунка наличием модуля вычислительного вспомогательного с отключаемым питанием. Отказоустойчивость двухканальных вычислителей обеспечивается самодиагностикой и холодным резервированием. Самодиагностика работающего канала осуществляется совместно с выполнением штатной программы по периодическим прерываниям от таймера. По результатам самодиагностики процессор формирует сигнал исправности. Если устройство резервирования в течение заданного времени не получит сигнал исправности, оно будет считать этот канал отказавшим и с помощью сигналов управления модулями питания выполнит переключение на резервный канал.

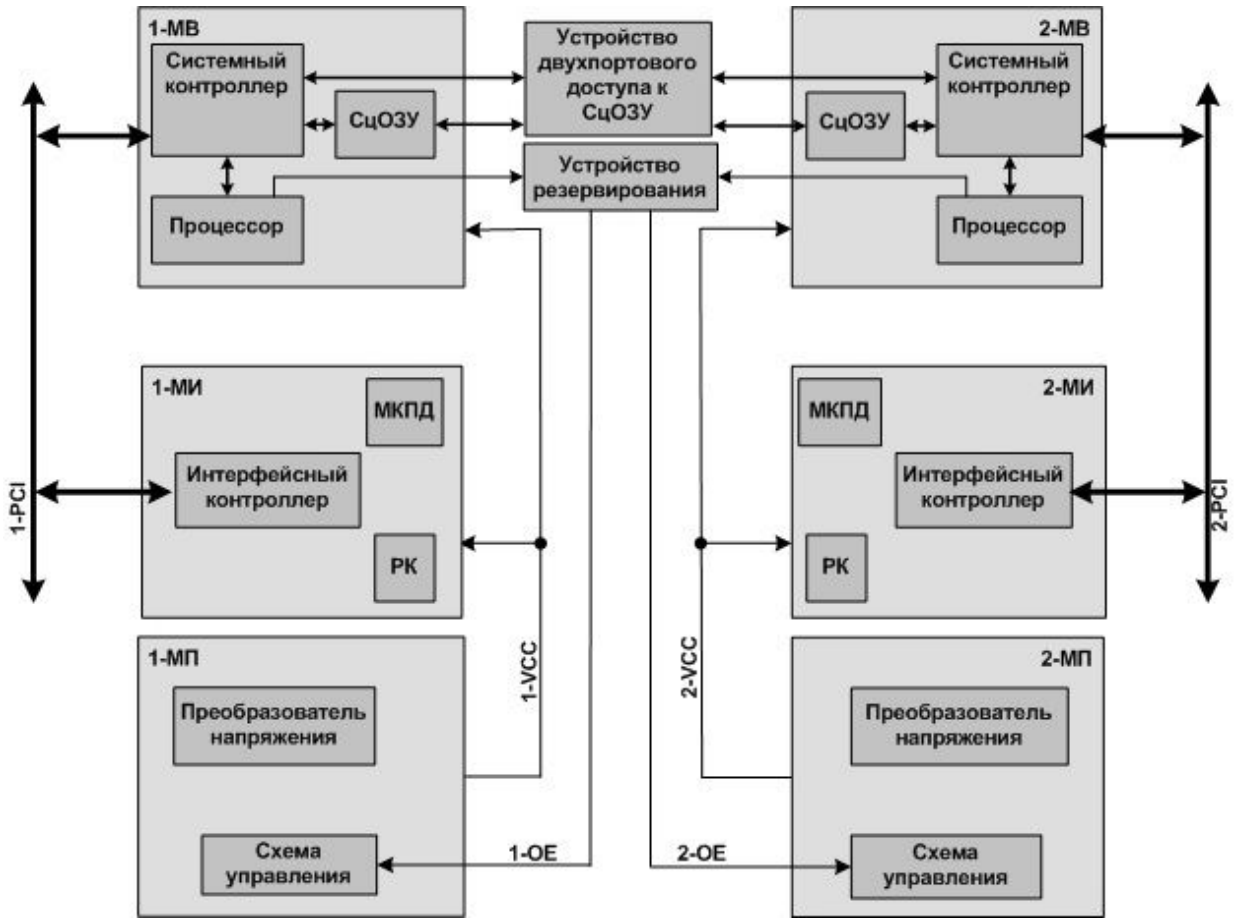


Рис. 1. Структура вычислителя повышенной надежности и стойкости

Для восстановления из СпецОЗУ промежуточных результатов необходим анализ условий сброса (переключения), который проводится с учетом служебной информации, извлекаемой также из СпецОЗУ.

В разработанных БЭВМ применяются микросхемы 5890BE1T, 5890BG1T, 1649PY1Y (НИИСИ РАН), 1874BE05T (НИИЭТ), 1620PE5Y, 1658PY1Y, 1658PY2T (НИИИС), 5559IN67T, 5584xxxAT (Интеграл), 1657PY1Y (ЭЛВИС).

В настоящее время прорабатывается возможность создания вычислителей с использованием микросхем 1914BM016, 1914BA016, 1658PY2T, 1658PY1Y, 5559BV014 (НИИИС), 5559IN73T, 5584xxxAY (Интеграл), 1892BM8Я, 1892KP1Я, 1892XD5T, 1657PY1Y (ЭЛВИС), 5576XC7T (КТЦ Электроника).

Применяемая в вычислителях новая элементная база позволяет не просто повысить производительность, но и обеспечить многофункциональность в плане совместного выполнения управляющих и обрабатывающих функций. В табл. 2 представлены ожидаемые характеристики разрабатываемых в настоящее время в НИИИС малогабаритного и высокопроизводительного вариантов вычислителей.

Таблица 2

Ожидаемые характеристики разрабатываемых БЭВМ

Характеристика	Вариант 4	Вариант 5
Число каналов	1	1
Процессор (архитектура, частота, МГц)	ARM-Cortex-M4F (FPU, DSP) 60	MIPS32 (FPU, DSP ElCore) 80
ПЗУ, Мбайт	1	1
ОЗУ, Мбайт	2	10
СпецОЗУ, Кбайт	8	64
Интерфейсы	2 МКПД 2 SpaceWire 2 RS-232 4 вх. РК, 4 вых. РК (300 мА) JTAG (OnCD, BoundaryScan)	2 МКПД 4 SpaceWire 2 RS-232 4 вх. РК, 4 вых. РК (300 мА) JTAG (OnCD)
Габариты, мм	138×138×62	138×138×110
Масса, кг	1	1,5

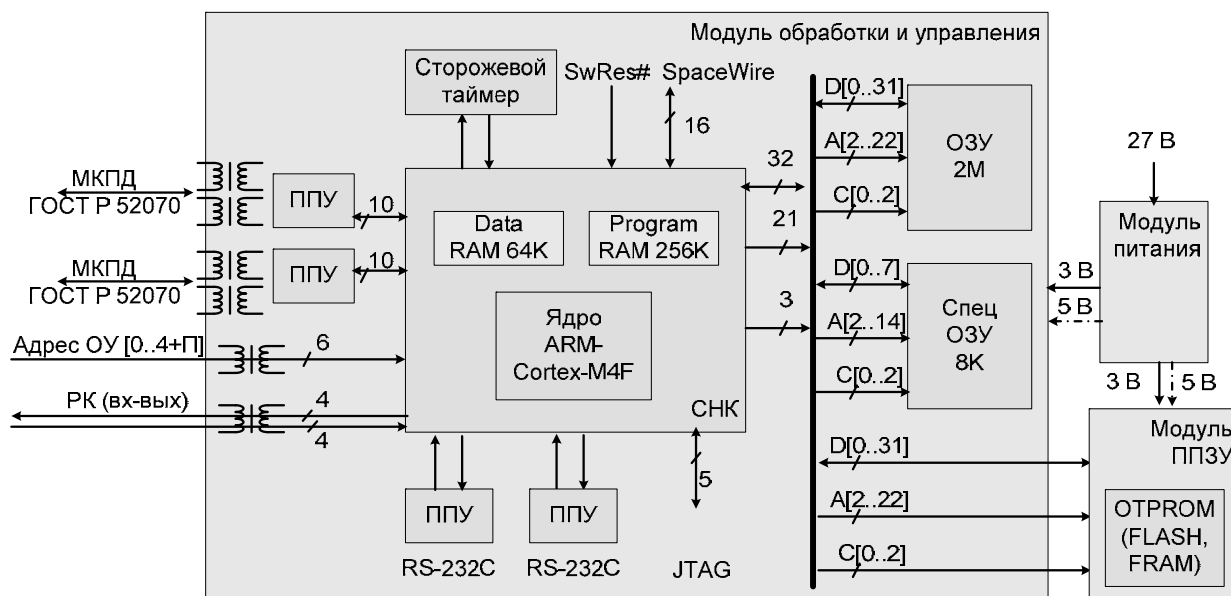


Рис. 2. Структура малогабаритного вычислителя

Малогабаритный вариант вычислителя разрабатывается на процессоре с ядром ARM-Cortex-M4F (НИИИС). Использование ядер семейства Cortex серии –M более предпочтительно в системах управления реального времени, чем серий –A или –R, благодаря минимальному времени обработки прерываний. Указанное ядро дополнительно имеет сопроцессор цифровой обработки сигналов.

Структура малогабаритного вычислителя на основе процессора с ядром ARM-Cortex-M4F показана на рис. 2.

Высокопроизводительный вариант вычислителя разрабатывается на микропроцессорах «Мультиборт» (ОАО «НПЦ «ЭЛВИС»»), имеющих как ядра общего назначения, так и мощные ядра цифровой обработки сигналов EICore.

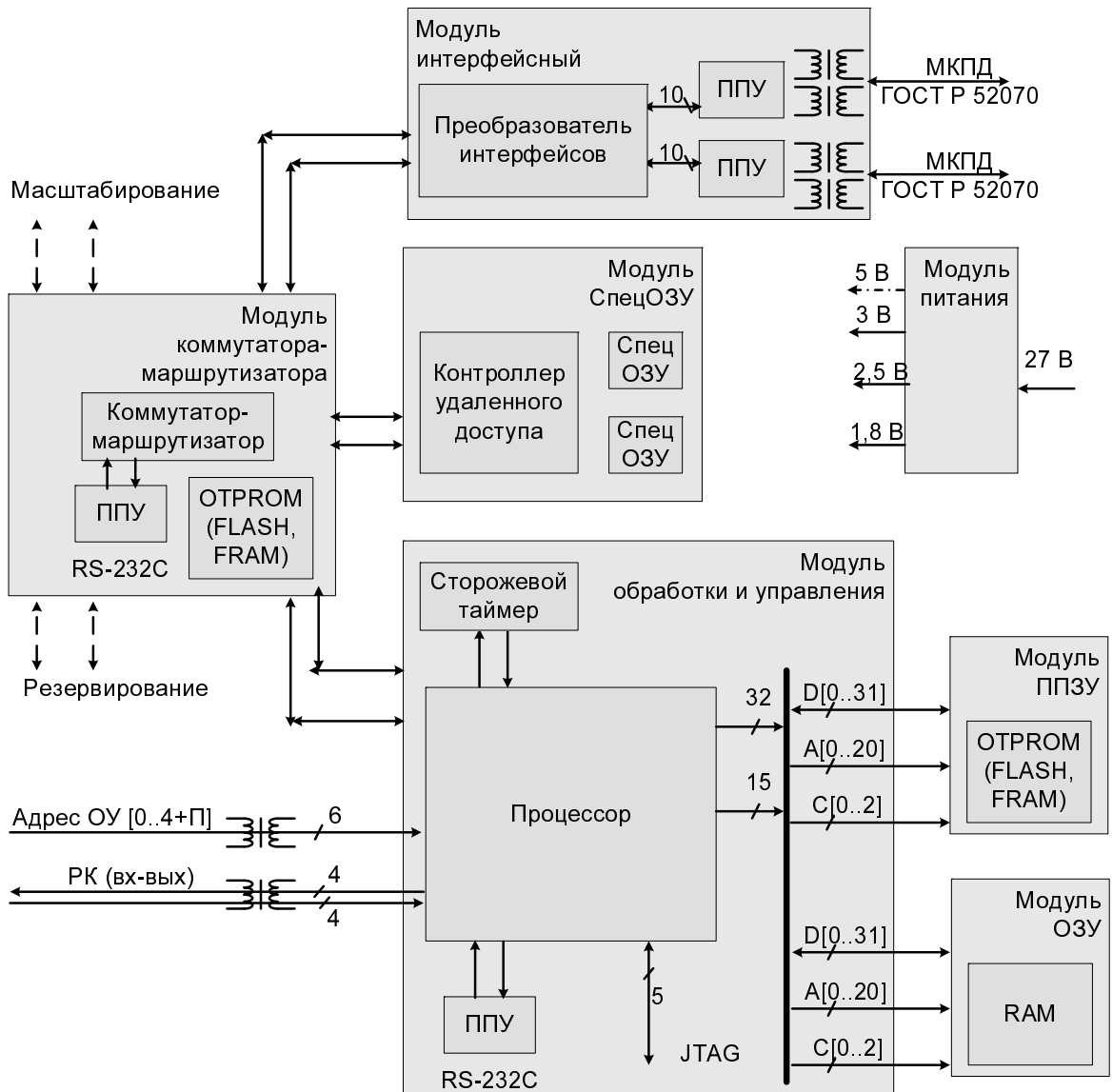


Рис. 3. Структура высокопроизводительного вычислителя

Структура высокопроизводительного вычислителя на микросхемах «Мультиборт» показана на рис. 3. Отличительной особенностью является построение на основе высокоскоростной коммутационной сети SpaceWire, легко допускающей масштабирование и резервирование.

Каждый из вариантов вычислителя оснащен сменной платой ПЗУ с возможностью установки как Flash-памяти, так и однократно программируемого ПЗУ. Модули вычислителей не требуют напряжения питания 5 В. Однако в модуле питания предусмотрена возможность формирования

такого напряжения, если это потребуется для наращиваемых модулей. Также возможны расширение функциональности, интегрирование средств навигации и управления с помощью наращиваемых модулей. Разрабатываемые вычислители строятся по одноканальной структуре. Дублирование замещением возможно на уровне приборов, при этом доступ к СпецОЗУ предполагается осуществлять по интерфейсу SpaceWire по протоколу RMAP (Remote Memory Access Protocol). В настоящее время разработана документация вычислителей, проведены расчеты надежности и механической прочности, завершено изготовление модулей. Габариты и установочные размеры модулей аналогичны форм-фактору PCI-104.

Список литературы

1. Гобчанский О. Проблемы создания бортовых вычислительных комплексов малых космических аппаратов // Современные технологии автоматизации. 2001. № 4. С. 28–34.
2. Русанов В. Н., Королев С. А., Сильянов Н. В. Анализ структур и надежности бортовых вычислительных систем // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 7. С. 18–30.
3. Русанов В. Н., Сильянов Н. В., Киселев А. Ю., Пряничников С. В. Самодиагностируемая резервированная бортовая вычислительная система // Авиакосмическое приборостроение. 2014. № 2. С. 16–28.
4. Пат. 2460121 РФ. Резервированная двухпроцессорная вычислительная система / В. Н. Русанов, А. Ю. Киселев, А. Н. Степанов, Г. Г. Бахирев // Бюллетень. 2012. № 24.
5. Пат. 2527191 РФ. Резервированная многоканальная вычислительная система / В. Н. Русанов, А. Ю. Киселев, Н. В. Сильянов // Там же. 2014. № 24.
6. Русанов В. Н., Сильянов Н. В., Киселев А. Ю. Самодиагностируемая трехканальная бортовая вычислительная система с резервированием замещением // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 3. С. 23–32.

On-Board Computer Systems with High Reliability and Hardiness

N. V. Sil'yanov

Structure charts and expected characteristics of already developed and new designs of multifunctional on-board computer systems are given. Perspective domestic integrated circuits are listed. Electronic modules of on-board computers are shown.