

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА БАЗЕ БЕЗЛИЦЕНЗИОННЫХ РАДИАЦИОННО-СТОЙКИХ КОМПОНЕНТОВ STMICROELECTRONICS



Традиционным назначением телеметрических систем (ТМС) космических аппаратов является сбор информации датчиков и выдача этой информации в некотором структурированном виде потребителю — как правило, в бортовой радиокomплекс либо в бортовой комплекс управления. Информация может передаваться как в виде непрерывной последовательности кадров, так и в пакетном режиме. Для исключения возможных срывов выполнения задачи изделия структура проектируемых бортовых телеметрических систем должна обеспечивать парирование возможных неисправностей в телеметрируемой аппаратуре. И поэтому требования к обеспечению надежности функционирования таких систем достаточно высоки.

В ряде случаев бортовая аппаратура имеет в своем составе средства собственной диагностики и способна выдавать

телеметрическую информацию в виде непрерывных потоков или в виде информационных пакетов на радиокomплекс непосредственно либо на ТМС. При этом диагностическая информация может занимать как весь транслируемый трафик, так и быть всего лишь частью данных, передаваемых в ходе выполнения основной задачи. Однако большая часть бортовой аппаратуры и агрегатов, спроектированных в рамках общей архитектуры космического аппарата, не снабжена подобными узлами и не способна выполнять функции самотестирования. В таком случае для прямого либо косвенного контроля данных приборов используются различные типы дискретных датчиков, в том числе аналоговых генераторных и параметрических датчиков. Таким образом, в задачи ТМС входит опрос параметров подобного типа. И довольно часто только благодаря информации ТМС удается диагностировать возможные неисправности телеметрируемой аппаратуры.

В случае решения задачи передачи и приема информации аналоговых сигналов перед разработчиками встает проблема организации аналогового тракта, в том числе цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразования сигналов. При этом дополнительно приходится учитывать требования, предъявляемые к аппаратуре в части влияния внешних воздействующих факторов, в том числе к влиянию спецфакторов космического пространства. Дело в том, что под влиянием ионизирующего излучения происходят различные обратимые и необратимые эффекты в электронных узлах аппаратуры, приводящие к сбоям в работе, временным и постоянным отказам функционирования. Для аналоговых трактов, передача информации по которым заключается в корректной передаче формы полезных сигналов, влияние дестабилизирующих факторов гораздо более критично по сравнению с воздействием на цифровые узлы, транслирующие дискретные сигналы, восстановление информации которых не сопряжено со значительными проблемами.

Необходимо признать, что крупнейшие разработчики и производители ЭПИ соответствующего уровня качества и надежности сконцентрированы на территории США, что подразумевает наличие ряда административных барьеров,

ограничивающих поставку радиационно-стойкой элементной базы в Россию и дружественные страны, из-за чего отечественные разработчики испытывают дополнительные трудности при проектировании бортовой космической аппаратуры. В данных условиях может быть полезен набор радиационно-стойких интегральных схем от европейской компании ST-Microelectronics, продукция которой свободна для ввоза на территорию России и при этом не только не уступает по функционалу и характеристикам аналогам от именитых американских производителей, но и в большинстве своем превосходит их.

Примером использования набора ИС ST-Microelectronics может служить упрощенная функциональная схема коммутатора температурных датчиков А1, подключенная на правах дискретного аналогового датчика к коммутатору А2 ТМС, представленная на рисунке 1. Вспомогательные узлы не показаны.

Коммутатор А1 также выполняет в аналоговом виде компенсацию напряжения смещения, не несущего полезной информации, и последующее масштабирование сигнала до уровня, удобного для обработки потребителем. Конечно,

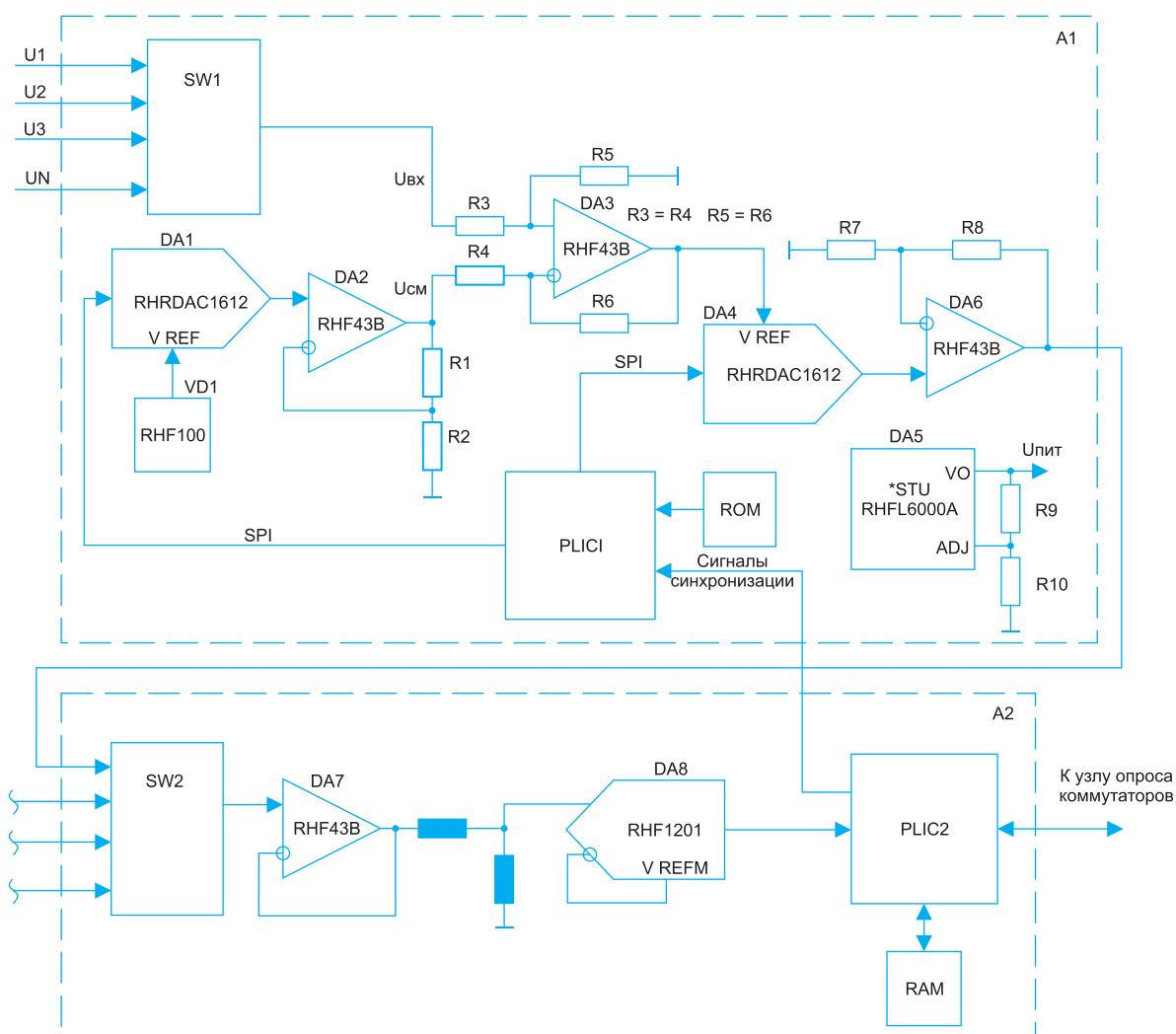


Рис. 1 Упрощенная функциональная схема ТМС на базе радиационно-стойких компонентов от ST-Microelectronics

в настоящее время подобные устройства теряют свою актуальность, поскольку современные средства позволяют производить математическую обработку сигналов цифровыми методами, однако данная схема может дать общее представление о возможности использования аналоговых ИС STMicroelectronics, в том числе и в качестве замены ЭРИ в разработках прошлых лет.

Под управлением ПЛИС2 коммутатора A2, передающего в устройство управления A1 номер опрашиваемого канала датчика, ПЛИС1 коммутатора A1 вырабатывает сигналы управления системой аналоговых коммутаторов SW1. При этом сигнал $U_{вх}$ требуемого датчика поступает на делитель $R5/(R3+R5)$ и далее на операционный усилитель DA3 типа RHF43B.

Одновременно ПЛИС1 производит чтение из ПЗУ параметра смещения для соответствующего датчика и передает данное значение на ЦАП DA1 типа RHRDAC1612, преобразующий этот параметр в аналоговый сигнал, который в свою очередь усиливается схемой, реализованной на операционном усилителе DA2. Для формирования опорного напряжения ЦАП используется стабилитрон VD1 типа RHF100. Сигнал с выхода усилителя DA2 поступает на операционный усилитель DA3.

Схема, реализованная на операционном усилителе DA3 и резисторах R3...R6, выполняет функцию компенсации напряжения смещения $U_{вых} = (U_{вх} - U_{см}) * K_u$, где $K_u = R6/R4$. Сигнал с выхода данного узла поступает на вход опорного напряжения ЦАП DA4 типа RHRDAC1612. При этом ПЛИС1 на вход данных ЦАП подает код масштабирования C_{scale} для

опрашиваемого датчика, таким образом напряжение сигнала на выходе ЦАП становится равным $U = 2 * U_{ref} * C_{scale} / 2^{16}$. Данный сигнал поступает на усилитель, реализованный на DA6, с коэффициентом усиления, равным $1 + R8/R7$, и передается на аналоговый коммутатор A2.

ПЛИС2 коммутатора A2 вырабатывает сигнал управления аналоговым ключом SW2, таким образом сигнал коммутатора A1 поступает на буферный повторитель, реализованный на операционном усилителе DA7. С выхода повторителя сигнал через делитель поступает на АЦП DA8 типа RHF1201, преобразовывающий его в цифровой код, который передается в ПЛИС2 и записывается в ОЗУ. При опросе данного датчика со стороны TMC данный код извлекается из ОЗУ и передается узлу опроса.

В качестве стабилизатора напряжения в данной схеме используется линейный стабилизатор с регулируемым выходным напряжением DA6 типа RHFL6000A. Выходное напряжение стабилизатора равно $U_{ст} = 1,248 V(R10+R9)/R10$.

ИС, используемые в данной схеме:

RHRDAC1612 — радиационно-стойкий малошумящий 16-разрядный цифро-аналоговый преобразователь, спроектированный по архитектуре интерполирующий фильтр → сигма-дельта модулятор второго порядка → 4-битный ЦАП. Функциональная схема приведена на рисунке 2.

Прибор способен работать от внешнего задающего генератора в диапазоне частот от 2,4 МГц до 3,6 МГц либо использовать внутренний генератор с частотой 3 МГц, частота

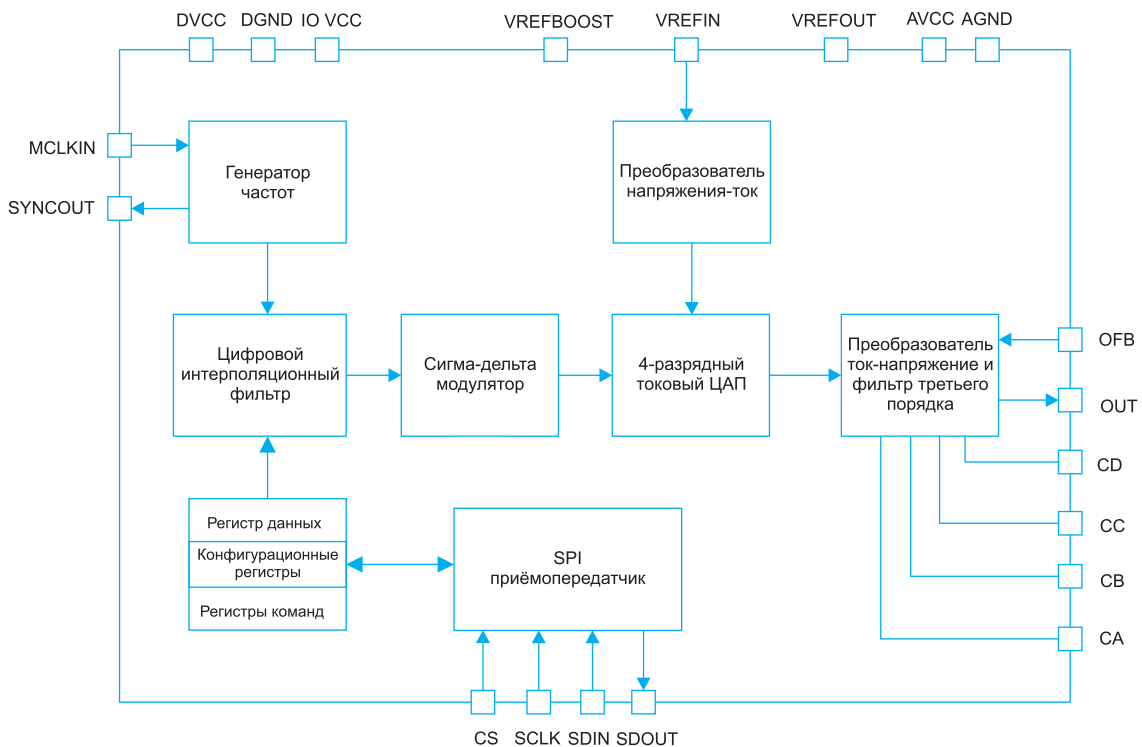


Рис. 2. Функциональная блок-схема RHRDAC1612

дискретизации составляет 12 киловыборок/с, при этом потребляемая мощность не превышает 15 мВт. Доступен режим пониженного энергопотребления.

Данная ИС позволяет производить обмен данными с микропроцессором по интерфейсу SPI с уровнями напряжений от 1,8 В до 3,3 В. Также прибор снабжен узлом автокалибровки.

ЦАП RHRDAC1612 устойчив к воздействию ионизирующего излучения до уровня 100 крад, также он не подвержен возникновению SEU- и SEL-эффектов вплоть до уровня воздействия ТЗЧ 120 МэВ*см²/мг. Основные технические характеристики RHRDAC1612 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики RHRDAC1612

Наименование параметра	Значение параметра
Разрядность, бит	16
Напряжение питания аналоговых узлов, В	3...3,6
Ток потребления по цепи аналогового питания, мА, не более	4,7
Напряжение питания цифровых узлов, В	3...3,6
Напряжение питания входных/выходных цифровых каскадов, В	1,6...3,6
Ток потребления по цепям цифрового питания, мА, не более	1
Пропускная способность, кГц	3
Тактовая частота, МГц	2,4...3,6
Частота преобразования, кГц	9,6...14,5
Максимальное выходное напряжение при $U_{ref}=1,2$ В, В	2,4
Погрешность выходного напряжения при $t=25^{\circ}\text{C}$, %, не более	1
Интегральная нелинейность, дв. ед.	$\pm 4,5$
Дифференциальная нелинейность, дв. ед.	$\pm 0,3$
Температурный диапазон, $^{\circ}\text{C}$	$-55...+125$
Корпус	FLAT-24

RHF1201 — радиационно-стойкий дифференциальный 12-разрядный АЦП с низким потреблением, оптимизированный для работы с частотой преобразования 50 Мгвыборок/с.

Прибор имеет конвейерную структуру обработки информации, а также цифровой узел коррекции результатов преобразования.

ИС снабжена внутренними узлами формирования опорных напряжений. Интерфейс обмена информацией с управляющим устройством — микропроцессорный 2,5 В либо 3,3 В.

АЦП RHF1201 устойчив к воздействию ионизирующего излучения до уровня 300 крад, также он не подвержен возникновению SEL-эффектов и отказоустойчив вплоть до уровня воздействия ТЗЧ 120 МэВ*см²/мг. Основные технические характеристики RHF1201 представлены в таблице 2.

Таблица 2. Основные технические характеристики RHF1201

Наименование параметра	Значение параметра
Разрядность, бит	12
Напряжение питания аналоговых узлов, В	2,3...2,7
Напряжение питания цифровых узлов, В	2,3...2,7
Напряжение питания входных/выходных цифровых каскадов, В	2,3...3,4
Потребляемая мощность при частоте преобразования 50 Мвыборок/с, Вт, не более	0,1
Полный размах напряжения входного сигнала, В	2
Погрешность преобразования при $t=25^{\circ}\text{C}$ и частоте преобразования 5 Мвыборок/с, %, не более	$\pm 0,3$
Интегральная нелинейность, дв. ед.	$\pm 1,7$
Дифференциальная нелинейность, дв. ед.	$\pm 0,5$
Температурный диапазон, $^{\circ}\text{C}$	$-55...+125$
Корпус	SO48

RHF43B — радиационно-стойкий прецизионный биполярный операционный усилитель с rail-to-rail выходом.

ОУ устойчив к воздействию ионизирующего излучения до уровня 300 крад, не подвержен возникновению SEL-эффектов до уровня воздействия ТЗЧ 120 МэВ*см²/мг. Основные технические характеристики усилителя RHF43B представлены в таблице 3.

Таблица 3. Основные технические характеристики RHF43B

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питания, В	3...16
Ток потребления, мА, не более	3
Допустимый диапазон синфазных входных напряжений	В пределах диапазона напряжений питания
Напряжение смещения нуля на входе, мВ	±0,5
Коэффициент подавления синфазного сигнала, дБ, не менее	80
Выходной ток, мА, не менее	±10
Скорость нарастания выходного сигнала, при $R_n = 1$ кОм, $C_n = 100$ пФ, $t = 25^\circ\text{C}$, В/мкс, не менее	2
Частота единичного усиления, при $R_n = 1$ кОм, $C_n = 100$ пФ, $t = 25^\circ\text{C}$, МГц, не менее	5
Коэффициент гармоник, %	0,01
Температурный диапазон, $^\circ\text{C}$	-55...+125
Корпус	FLAT-8

RHFL6000A — радиационно-стойкий регулируемый линейный стабилизатор напряжения положительной полярности с низким падением напряжения, имеющий встроенную защиту по температуре и току короткого замыкания, а также регулируемую по уровню схему ограничения тока нагрузки.

Стабилизатор RHFL6000A устойчив к воздействию ионизирующего излучения до уровня 300 крад, не подвержен возникновению SEL-эффектов до уровня воздействия ТЗЧ 120 МэВ*см²/мг. Основные технические характеристики стабилизатора RHFL6000A представлены в таблице 4.

Таблица 4. Основные технические характеристики RHFL6000A

Наименование параметра	Значение параметра
Входное напряжение, В	2,5...12
Ток нагрузки, А, не более	3
Падение напряжения на стабилизаторе при $I_n = 1$ А, $U_{\text{вых}} = 2,5...9$ В, $t = 25^\circ\text{C}$, мВ, не более	800
Ток потребления во включенном режиме при $I_n = 1$ А, $U_{\text{вх}} = 2,5...12$ В, $t = 25^\circ\text{C}$, мА, не более	60
Температурный диапазон, $^\circ\text{C}$	-55...+125
Корпус	FLAT-16P

RHF100 — радиационно-стойкий прецизионный стабилизатор с высокой устойчивостью к влиянию температуры, времени и поглощенной дозы излучения.

RHF100 устойчив к воздействию ионизирующего излучения до уровня 300 крад, не подвержен возникновению SEL-эффектов до уровня воздействия ТЗЧ 120 МэВ*см²/мг. Основные технические характеристики стабилизатора RHF100 представлены в таблице 5.

Таблица 5. Основные технические характеристики RHF100

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение стабилизации, В	1,2
Погрешность напряжения стабилизации при $I_{\text{ст}} = 100$ мкА, %, не более	±0,15
Диапазон токов в режиме стабилизации, мА	0,04...12
Температурный коэффициент напряжения, $^\circ\text{C}^{-1}$, не более	$15 \cdot 10^{-6}$
Нестабильность напряжения от времени эксплуатации при $I_{\text{ст}} = 100$ мкА, $t_{\text{раб}} = 1000$ ч, %, не более	0,02
Температурный диапазон, $^\circ\text{C}$	-55...+125
Корпус	FLAT-10

Заключение

Таким образом, аналоговая часть системы телеметрии космического назначения может быть практически полностью спроектирована на радиационно-стойких компонентах компании STMicroelectronics. Описанные выше компоненты обладают превосходными характеристиками по накопленной дозе от 100 до 300 крад и не подвержены возникновению SEL-эффектов до уровня воздействия ТЗЧ 120 МэВ*см²/мг. Кроме того, все компоненты доступны для ввоза на территорию РФ без каких-либо лицензионных ограничений, а для разработчиков доступны тестовые образцы.

