

Радиационно-стойкие компоненты STMicroelectronics для космических применений

Александр Бородулин, инженер по применению активных компонентов «ПетроИнТрейд»
alexander.borodulin@msk.petrointrade.ru

Цель данного обзора — кратко осветить номенклатуру выпускаемых компанией STMicroelectronics (ST) компонентов, специально разработанных, корпусированных, испытанных и квалифицированных на соответствие европейским и американским стандартам для аэрокосмических применений.

ST — партнер Европейского космического агентства

Более половины своей продукции, предназначенной для аэрокосмического применения, STMicroelectronics поставляет на европейский рынок, около 20% — в Северную Америку и около 25% — в Азию и Японию. Таким образом, ST является одним из крупнейших поставщиков высоконадежных и радиационностойких электронных компонентов.

Компания полностью сертифицирована по стандарту ISO/TS 16949, отвечает стандартам QML, ISO9000, TL9000 и QS9000. ST поддерживает европейские космические программы с 1977 г. и проходит сертификацию Европейского космического агентства (ESA) с момента его создания. Сегодня компания сертифицирована по JAN-S, а также расширила свои сервисы, выполняя квалификацию продуктов на соответствие американскому стандарту QML-V агентства оборонных поставок DSCC и сертификацию RHA гарантии радиационной стойкости по спецификации MIL-PRF-38535 с тестированием TM1019 по стандарту MIL-STD-883.

Являясь европейской компанией, ST не попадает под ограничения США ITAR по экспорту компонентов для аэрокосмического применения. Большинство специальных компонентов, производимых ST, доступно для поставок в Россию без лицензии. Последняя будет нужна только для поставок микросхем АЦП.

Таблица 1. Биполярные диоды

Наименование	Описание	Уровни радиации	Агентство квалификации	EPPL	ESCC спецификация	Корпус	Тип	V_{RRM} макс., В	I_O макс., А	V_F макс. @ rated I_F, В	T_{RR} макс., нс	T_j макс., °С	Температура, °С
1N6640U	0,3 А – 75 В импульсный диод	В плане: 150 крад (Si) LDR 3 Мрад HDR	ESCC	В плане	–	LCC-2D	PN	75	0,3	1,060	9	175	–65...+175
1N6642U	0,3 А – 100 В импульсный диод	В плане: 150 крад (Si) LDR 3 Мрад HDR		В плане	–	LCC-2D	PN	100	0,3	1,20	9	175	
1N5806U	2,5 А импульсный быстровосстанавливающийся выпрямительный диод	В плане: 150 крад (Si) LDR 3 Мрад HDR		Да	5101/014	LCC-2A	PN	150	2,5	1,00	30	175	
1N5811U	6 А импульсный быстровосстанавливающийся выпрямительный диод	В плане: 150 крад (Si) LDR 3 Мрад HDR		Да	5101/013	LCC-2B	PN	150	6	0,95	35	175	
BYW81HR	15 А – 200 В силовой быстровосстанавливающийся выпрямительный диод 2 × 15 А – 200 В силовой быстровосстанавливающийся выпрямительный диод	В плане: 150 крад (Si) LDR 1 Мрад HDR		Да	5103/029	SMD.5 / TO-254	Одинарный PN Двойной PN	200	1 × 15 2 × 15	1,10	40	150	–55…+150
BYV52HR	30 А – 200 В силовой быстровосстанавливающийся выпрямительный диод	В плане: 150 крад (Si) LDR 1 Мрад HDR		Да	5103/030	TO-254	PN	200	30	1,15	55	150	
BYV54HR	40 А – 200 В силовой быстровосстанавливающийся выпрямительный диод	Вплане: 150 кмад (Si) LDR 1 Мрад HDR		Да	5103/031	TO-254AA	PN	200	40	1,30	60	150	

Таблица 2. Диоды Шоттки

Наименование	Описание	Уровни радиации	Агентство квалификации	EPPL	ESCC спецификация	Корпус	Тип	V_{RRM} макс., В	I_o макс., А	V_F макс. @ rated IF, В	T_{RR} макс., нс	T_j макс., °С	Температура, °С
1N5822U	3 А импульсный диод Шоттки	В плане: 150 крад (Si) LDR 3 Мрад HDR	ESCC	В плане	-	LCC-2B	Шоттки	40	3	0,485	–	150	–55…+150
1N5819U	1 А импульсный диод Шоттки	В плане: 150 крад (Si) LDR 3 Мрад HDR		В плане	5103/028	LCC-2B	Шоттки	45	1	0,49	–	150	
STPS1045HR	2 × 10 А – 45 В силовой выпрямительный	В плане: 150 крад (Si) LDR 1 Мрад HDR		–	5106/017	SMD.5	Двойной Шоттки	45	2 × 10	0,75	–	175	
STPS6045HR	2 × 30 А – 45 В силовой быстро-восстанавливающийся выпрямительный	В плане: 150 крад (Si) LDR 1 Мрад HDR		–	5106/018	TO-254	Двойной Шоттки	45	2 × 30	0,75	–	175	
STPS20100HR	20 А – 100 В силовой выпрямительный 2 × 20 А – 100 В силовой выпрямительный	В плане: 150 крад (Si) LDR 1 Мрад HDR		Да	5106/016	SMD.5 / TO-254	Одинарный Шоттки Двойной Шоттки	100	1 × 20 2 × 20	1,00	–	175	
STPS40100HR	2 × 20 А – 100 В силовой выпрямительный	В плане: 150 крад (Si) LDR 1 Мрад HDR		–	5106/019	TO-254	Двойной Шоттки	100	2 × 20	0,90	–	175	

ST предлагает широкий ассортимент аэрокосмической элементной базы: диоды, транзисторы, схемы логики, операционные усилители, компараторы, АЦП и стабилизаторы напряжения. Компания активно работает над дальнейшим расширением этой номенклатуры и сертификацией уже существующей продукции по более строгим нормативам.

В рамках долговременного сотрудничества со своими клиентами ST готова поддерживать склад микросхем в виде полупроводниковых пластин, что значительно сокращает сроки производства и открывает возможности по поставкам компонентов в бескорпусном исполнении.

Номенклатура компонентов

Для наглядности предлагаем познакомиться с номенклатурой выпускаемых компанией ST радиационно-стойких компонентов по таблицам. В таблице 1

Таблица 3. Биполярные транзисторы

Наименование	Описание	Уровень радиации	Агентство квалификации	EPPL	ESCC спецификация	Корпус	Тип	V_{CEO}, В	I_C, А	h_{FE} мин.	Температура, °С
2N2219AHR	NPN биполярный транзистор 40 В – 0,8 А	–	ESCC	Да	5201/003	TO-39	NPN	40	0,8	100	–65…+200
2N2222AHR	NPN биполярный транзистор 40 В – 0,8 А	до 100 крад (Si)			5201/002	LCC-3UB LCC-3 TO-18		40	0,8	100	
2N2484HR	NPN биполярный транзистор 60 В – 0,05 А	–			5201/001	LCC-3UB LCC-3 TO-18		60	0,05	100	
2N2920AHR	NPN биполярный транзистор 60 В – 0,03 А	–			5207/002	LCC-6 TO-77		60	0,03	300	
2N3019HR	NPN биполярный транзистор 80 В – 1 А	–			5201/011	TO-39		80	1	100	
2N3700HR	NPN биполярный транзистор 80 В – 1 А	до 100 крад (Si)			5201/004	LCC-3UB LCC-3 TO-18		80	1	100	
2N5154HR	NPN биполярный транзистор 80 В – 5 А	–			5203/010	SMD.5 TO-257 TO-39		80	5	70	
2N5551HR	NPN биполярный транзистор 160 В – 0,5 А	до 100 крад (Si)			5201/019	LCC-3UB LCC-3 TO-18 TO-39		150	0,5	80	
2N2907AHR	PNP биполярный транзистор –60 В – 0,6 А	–		Да	5202/001	LCC-3UB LCC-3 TO-18	PNP	–60	–0,6	100	
2N3810HR	PNP биполярный транзистор –60 В – 0,05 А	–		Да	5207/005	LCC-6 TO-78		–60	–0,05	150	
2N5153HR	PNP биполярный транзистор –80 В – 5 А	–		Да	5204/002	SMD.5 TO-257 TO-39		–80	–5	70	
2N5401HR	PNP биполярный транзистор –150 В – 0,5 А	до 100 крад (Si)		Да	5202/014	LCC-3UB LCC-3 TO-18		–150	–0,5	60	

Таблица 4. MOSFET-транзисторы

Уровень радиации	Агентство квалификации	EPPL	ESCC спецификация	Корпус	Тип	V_{dss}, В	I_d макс., А	R_{dson} макс.	Q_g макс., нКл	Температура, °С
70 крад (Si) SEE характеризовано	ESCC	В плане	–	SMD.5	N	60	30	45	52	–55…+150
100 крад (Si) SEE характеризовано		В плане	–	TO-254AA	N	60	80	13,5	161	
70 крад (Si) SEE характеризовано		В плане	–	TO-254AA	N	100	8	300	22	
70 крад (Si) SEE характеризовано		В плане	5205/021	TO-254AA	N	100	48	35	162	
100 крад (Si) SEE характеризовано		В плане	–	TO-257AA	P	–100	10	340	44	
100 крад (Si) SEE характеризовано		В плане	–	TO-254AA	P	–100	34	75	200	

Таблица 5. Стабилизаторы напряжения

Наименование	Описание	Уровень радиации	Агентство квалификации	EPPL	SMD / детальная спецификация	Корпус	V_{IN}, В		I_{OUT} макс., А	V_{OUT}, В		V_{DROP} тип., В	Выключение	Температура, °С
							мин.	макс.		мин.	макс.			
RHFL4913xx15	1,5 В фиксированный положительный стабилизатор напряжения	300 крад (Si) HDR & LDR ELDRS нет SEL нет (при 68 МэВ/см²/мг)	QML-V	В плане	–	SMD.5 Flat-16 TO-257	3,00*	12,00	3,0	1,47	1,53	0,35 В @ 0,4 А 0,75 В @ 2 А	Да	–55…+150
RHFL4913xx25	2,5 В фиксированный положительный стабилизатор напряжения	300 крад (Si) HDR & LDR ELDRS нет SEL нет (при 68 МэВ/см²/мг)		Да	5962F02534	SMD.5 Flat-16 TO-257				2,45	2,55	0,35 В @ 0,4 А 0,75 В @ 2 А	Да	
RHFL4913xx33	3,3 В фиксированный положительный стабилизатор напряжения	300 крад (Si) HDR & LDR ELDRS нет SEL нет (при 68 МэВ/см²/мг)		Да	5962F02535	SMD.5 Flat-16 TO-257				3,23	3,37	0,35 В @ 0,4 А 0,75 В @ 2 А	Да	
RHFL4913xx50	5,0 В фиксировнный положительный стабилизатор напряжения	300 крад (Si) HDR & LDR ELDRS нет SEL нет (при 68 МэВ/см²/мг)		Да	5962F02536	SMD.5 Flat-16 TO-257				4,90	5,10	0,35 В @ 0,4 А 0,75 В @ 2 А	Да	
RHFL4913xxA	3,0 А регулируемый положительный стабилизатор напряжения	300 крад (Si) HDR & LDR ELDRS нет SEL нет (при 68 МэВ/см²/мг)		Да	5962F02524	Flat-16 SMD5C				1,23	9,00	0,35 В @ 0,4 А 0,90 В @ 2 А	Да	
RHFL7913xxA	3,0 А регулируемый отрицательный стабилизатор напряжения	300 крад (Si) HDR & LDR ELDRS нет SEL нет (при 68 МэВ/см²/мг)		Да	5962F02532	Flat-16 SMD5C	–12,00	–1,30	2,0	–9,50	–1,20	0,5 В @ –0,4 А 0,8 В @ –1 А	Да	

* $V_{in\ мин.}$ может быть 2,5 В в некоторых условиях

приведены выпускаемые на данный момент биполярные диоды, в таблице 2 — диоды Шоттки. Стоит отметить, что посадочное место на плате под корпус LCC2A(B) совместимо с известным корпусом D5A(B). Биполярные транзисторы (таблица 3) в процессе производства проходят RVT-тесты, при этом в большинстве случаев электрические характеристики компонентов остаются неизменными до и после облучения. MOSFET-транзисторы (таблица 4), как N-канальные, так и P-канальные, устойчивы к феноменам SEB и SEGR на уровнях энергий до 32 МэВ/см²/мг. Транзисторы не нуждаются в экспортных лицензиях для осуществления поставок и могут поставляться в пластинах.

В таблице 5 перечислены радиационно-стойкие стабилизаторы напряжения. Эти микросхемы гарантированно защищены от эффектов SEL и SEU при облучениях ионами с энергиями до 68 МэВ/см²/мг. Стабилизаторы имеют регулируемую защиту от перегрузки по току до 4 А. Тестируются на 300 крад MIL STD 883E Method 1019.6 HDR и 0,01 рад/с по ELDRS.

Операционные усилители (рис. 1) представлены в таблице 6. Компания ST разработала тестовые платы для оценки технических параметров этого типа компонентов. Коды для заказа плат соответственно EVAL-RHF43BV1, EVAL-RHF310V1, EVAL-RHR330V1 и EVAL-RHF350V1.

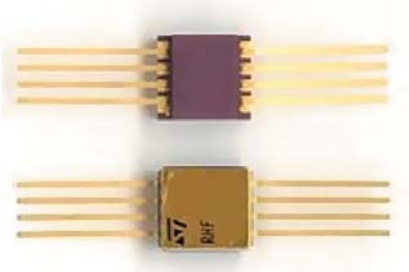


Рис. 1. Радиационно-стойкие операционные усилители ST

Таблица 6. Операционные усилители

Наименование	Описание	Уровень радиации	Агентство квалификации	EPPL	SMD / детальная спецификация	Корпус	Число блоков	V_{cc}, В		Полоса пропускания, МГц	Скорость нарастания тип., В/мкс	Ток питания тип., мА	Rail to rail вх / вых	Входное смещение VIO норм., мкВ	Температура, °C
								мин.	макс.						
RHF43B	Точный одинарный ОУ	300 крад (Si) HDR & LDR ELDRS нет SEL нет 110 МэВ/см²/мг @ 125C	QML-V	Да	5962F06237	Flat-8	1	3,0	16,0	8	3	2,2	Нет / Да	100	
RHF300	Сверхмалошумящий одинарный ОУ	В плане: 300 крад (Si) HDR & LDR ELDRS нет SEL нет (при 110 МэВ/см²/мг, 125°C)	QML-V	В плане		Flat-8S	1	4,5	5,5	200	–	15	Нет / Нет	1000	
RHF310	Низкопотребляющий высокоскоростной одинарный ОУ	300 крад (Si) HDR & LDR ELDRS нет SEL нет (при 110 МэВ/см²/мг, 125°C)	QML-V	В плане	5962F233	Flat-8S	1	4,5	5,5	120	115	0,4	Нет / Нет	3,5	–55…+125
RHF330	1 ГГц малошумящий одинарный ОУ	300 крад (Si) HDR & LDR ELDRS нет SEL нет (при 110 МэВ/см²/мг, 125°C)	QML-V	В плане	5962F231	Flat-8S	1	4,5	5,5	1000	1800	16,6	Нет / Нет	1800	
RHF350	550 МГц одинарный ОУ	300 крад (Si) HDR & LDR ELDRS нет SEL нет (при 110 МэВ/см²/мг, 125°C)	QML-V	В плане	–	Flat-8S	1	4,5	5,5	550	940	4,1	Нет / Нет	800	
RHF484	Точный четверной ОУ	В плане: 300 крад (Si) HDR & LDR ELDRS нет SEL нет (при 110 МэВ/см²/мг, 125°C)	QML-V	В плане	–	Flat-14	4	3,0	16,0	8	3	2,2	Нет / Да	100	

Наиболее многочисленными являются семейства микросхем логики, которые включают в себя как наименования, выпускающиеся очень давно, так и новинки, появившиеся за последний год:

1. ***HCC4xx*** — 75 наименований CMOS4000 логики на 100 крад, квалифицируется ESCC уже более 30 лет.
2. ***M54HC/HCT*** — 89 наименований 54HC/HCT логики на 50 крад LDR, квалифицируется ESCC уже больше 15 лет. Не имеет проблем с деградацией времен переключений, связанной с облучением. Существуют варианты с устойчивостью до 100 крад LDR.
3. ***RHFAC/ACTxx*** — более 62 наименований 54AC/ACT логики, 300 крад MIL1019. Выдерживают всякую допустимую космическую или военную мощность облучения. Все семейство квалифицированно QML-V и QML-Q.
4. ***54VCXHxxx*** — семейство 16-разрядных интерфейсов, 300 крад MIL1019, QML-V. Отсутствуют эффекты случайных воздействий при облучении ионами с энергией до 72 МэВ/см²/мг.

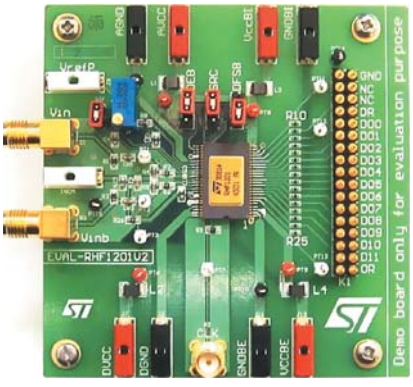


Рис. 2. Демоплата радиационно-стойкой микросхемы АЦП EVAL-RHF1201V2

На последнем семействе остановимся немного подробнее. В него входят следующие продукты:

- 54VCXH162244 — интерфейс 16-разрядной шины;
- 54VCXH162245 — приемопередатчик 16-разрядной шины;
- 54VCXHR162245 — то же, но со встроенными резисторами 26 Ом на выходах;
- 54VCXH162373 — 16-разрядная защелка D-типа;
- 54VCXH162374 — 16-разрядный D-триггер;
- 54VCXH163245 — 3,6 В ⇔ 1,4 В 16-разрядный преобразователь уровня, идеален для построения интерфейса между FPGA и микроконтроллером;
- 54ACS164245 — 5 В ⇔ 2,3 В 16-разрядный преобразователь уровня, 300 крад (Si).

Помимо всех перечисленных компонентов, в настоящее время ST производит две микросхемы АЦП: RHF1201 — 12 бит 50 Msps и RHF1401 — 14 бит 30 Msps. Обе устойчивы к радиации до 300 крад (Si) TID и квалифицированы по QML-V. Демоплаты для заказа имеют наименования соответственно EVAL-RHF1201V2 (рис. 2) и EVAL-RH1401V2.

По вопросам предоставления образцов и поставки компонентов STMicroelectronics обращайтесь к руководителю направления активных компонентов компании «ПетроИнТрейд» Юрию Емельянову: st@petrointrade.ru