

# Современные ИС Texas Instruments для космических приложений

Юрий Петропавловский (г. Таганрог)

В статье коротко рассмотрена история создания полупроводниковых приборов компании Texas Instruments. Приведена номенклатура продуктов высокой надёжности и рассмотрены особенности современных микросхем космического назначения.

Компания Texas Instruments (Даллас, США) является одним из крупнейших мировых разработчиков и производителей аналоговых и цифровых микросхем. Компания поддерживает русскоязычный портал и располагает широкой сетью дистрибьюторов своей продукции в России [1].

Свою историю компания ведёт с 1930 г., когда группа инженеров (Юджин МакДермонт, Сесил Грин, Джон Джонссон, Генри Пико) из компании Geophysical Service (GSI) занялась исследованиями методов обработки отражённых сейсмических волн для обнаружения нефтяных пластов (в 1941 г. основатели выкупили GSI за \$275 тыс.).



Рис. 1. Серийный германиевый транзистор Type 102

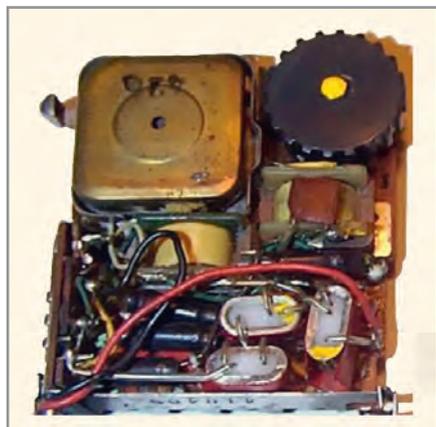


Рис. 2. Слуховой аппарат Sonotone 1111

После начала Второй мировой войны компания получила контракт на разработку аппаратуры для обнаружения подводных лодок. В 1945 г. в компанию был принят Патрик Хаггерти из бюро закупок военно-морских сил США, после чего производство радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) для военных целей стало одним из основных видов деятельности компании (оборот GSI в 1950 г. составил \$7,6 млн, а число сотрудников достигло 1128).

В 1951 г. компания сменила название на Texas Instruments (TI), а в мае 1952 г. стала одним из покупателей лицензии на производство германиевых транзисторов у фирмы Western Electric.

Значительных успехов в производстве транзисторов компания добилась после принятия в 1952 г. на работу Гордона Тила (Gordon Kidd Teal, 1907–2003 гг.) из компании Bell Laboratories. Гордон Тил известен созданием технологии выращивания кристаллов германия для изготовления транзисторов, впервые в мире созданных группой Уильяма Шокли из Bell Laboratories.

Первые экземпляры точечных транзисторов (Type 100, Type 101) TI продемонстрировала уже в августе 1952 г., однако в массовое производство они не пошли. Транзисторы Type 102 (см. рис. 1) и Type 103 с улучшенными параметрами в герметичных корпусах были представлены в сентябре 1953 г. В 1954 г. в таких же корпусах были выпущены и первые плоскостные p-p-транзисторы Type 200, Type 201, обла-

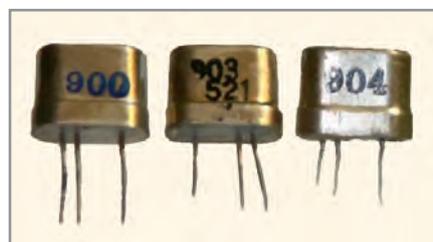


Рис. 3. Первые кремниевые транзисторы

дающие высокой надёжностью и большой мощностью рассеивания. Одними из первых приборов, в которых были применены транзисторы TI, были слуховые аппараты Sonotone 1111 (см. рис. 2), для производства которых фирма Sonotone сделала заказ на 7500 транзисторов TI (Type 204, Type 205).

Первые германиевые транзисторы компании были маломощными и низкочастотными, что существенно ограничивало их применение, особенно в такой перспективной сфере, как портативные радиоприёмники. Однако уже в 1954 г. в компании были созданы высокочастотные транзисторы Type 222 (УПЧ) и Type 223 (гетеродин), нашедшие применение в прототипе радиоприёмника Regency TR-1.

Мощные (12 Вт) сплавные германиевые транзисторы Type 356 (2N250) Type 356A (2N251) были запущены в производство в 1956 г. Приборы нашли применение в автомобильных радиоприёмниках.

Для разработки кремниевых транзисторов в компании была создана специальная группа (Silicon Transistor Team). Первые коммерческие кремниевые транзисторы серии 900 были выпущены в 1956 г. Тогда же были выпущены и версии транзисторов для ВМФ США – USN 2N117 (Type 903) и USN 2N118 (Type 904), предназначенные для жёстких условий эксплуатации (см. рис. 3) [2].

В сентябре 1958 г. сотрудник TI Джек Килби (Jack St. Clair Kilby, 1923–2005 гг.) продемонстрировал первую действующую микросхему. Последствия этого события оказались столь значительными, что через 42 года Килби получил Нобелевскую премию.

Первая микросхема Килби представляла собой полоску германия размера-

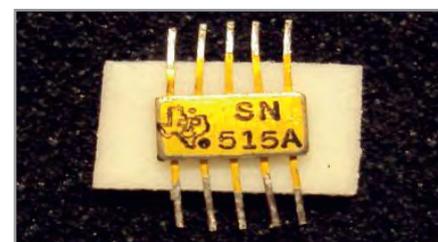


Рис. 4. Микросхема высокой надёжности SN515A

ми  $10 \times 1,6$  мм, на которой сформированы элементы автогенератора колебаний – меза-транзистор, конденсатор на р-п-переходе и объёмный резистор (часть германиевой пластины).

Уже в 1960 г. компания выпустила ряд логических микросхем в керамических позолоченных корпусах, предназначенных для жёстких условий эксплуатации – SN511A (триггер), SN515A (схема ИЛИ, см. рис. 4), SN393A, SN394A, SN395A, SN366A и другие. Микросхемы высокой надёжности с успехом применялись в аппаратуре космических аппаратов Аполлон лунной программы НАСА. Например, микросхема SN7401 (аналог 133ЛА8) 1967 г. выпуска предназначена для военных и космических приложений (SN 7401 Gold IC Space Race Stuff).

В каталоге компании 2017 г. представлена широкая номенклатура микросхем высокой надёжности в трёх категориях продуктов: космического назначения (Space), усовершенствованные продукты (Enhanced Products), продукты класса QML Class Q (военный стандарт MIL-PRF-38535) и высокотемпературные (QML & High Temperature) [3].

Как правило, микросхемы высокой надёжности являются аналогами соответствующих микросхем промышленного назначения и отличаются только эксплуатационными параметрами, такими как диапазон рабочих температур, вибростойкость, ударпрочность, радиационная стойкость и срок службы.

### МИКРОСХЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Основным отличительным признаком приборов данной категории является высокая радиационная стойкость (Radiation Tolerance), подтверждаемая соответствующими испытаниями. Особенности работы полупроводниковых приборов на большой высоте и в космосе приведены в [4].

Микросхемы космического назначения выпускаются в керамических позолоченных корпусах, обеспечивающих защиту от электромагнитных полей и внешних воздействий на кристалл. В данную категорию продуктов входят следующие группы микросхем:

- преобразователи данных (Data Converters) с радиационной стойкостью (дозами облучения) 50–300 крад – в группу входят, в основном, АЦП (более 10 типов микросхем),

### Преобразователи данных космического назначения

Тип микросхемы	Радиационная стойкость, крад	Назначение, параметры
ADS1282-SP	50	АЦП высокого разрешения (31 бит), производительность 0,25–4 килывыборок/с
ADC08D1520QML-SP	300	Сдвоенный 8-разрядный АЦП с малым энергопотреблением, производительность 3–5 Гвыборок/с
ADC10D1000QML-SP	100	Сдвоенный 10-разрядный АЦП с малым энергопотреблением, производительность 1–2 Гвыборок/с
ADC12D1600QML-SP	300	Одинарный или сдвоенный 12-разрядный АЦП, производительность 3200/1600/800 Мвыборок/с
ADC128S102QML-SP	100	Восьмиканальный 12-разрядный АЦП, 50–1000 килывыборок/с
ADC14155QML-SP	100	14-разрядный АЦП, 155 Мвыборок/с, полоса пропускания 1,1 ГГц
ADS5400-SP	50	12-разрядный АЦП с входным аналоговым буфером, 1 Гвыборок/с
ADS5424-SP	150	14-разрядный АЦП, 105 Мвыборок/с
ADS5444-SP	150	13-разрядный АЦП, 250 Мвыборок/с
ADS5463-SP	100	12-разрядный АЦП, 500 Мвыборок/с
ADS5474-SP	100	14-разрядный АЦП, 400 Мвыборок/с
DAC121S101QML-SP	100	12-разрядный малопотребляющий ЦАП с выходом Rail-to-Rail
DAC5670-SP	100	14-разрядный ЦАП, 2,4 Гвыборок/с
DAC5675-SP	150	14-разрядный ЦАП, 400 Мвыборок/с
LM98640QML-SP	100	Двухканальный 14-разрядный аналоговый блок Front End с интерфейсом LVDS, 40 Мвыборок/с

ЦАП (3 типа) и фронтальный преобразователь (Front End) LM98640QML-SP;

- микросхемы интерфейсов и синхронизации (Interface & Timing) с радиационной стойкостью 25–300 крад – в группу входят микросхемы интерфейсов RS-422, EIA-485, EIA-422, LVDS, тактовых синхронизаторов, линейных шинных драйверов, шинных приёмников и некоторые другие;
- усилители и компараторы (Amplifiers/Comparators) с радиационной стойкостью 50–300 крад (более двух десятков типов микросхем);
- цифровые сигнальные процессоры (DSP) SMJ320C6701-SP в различных исполнениях с радиационной стойкостью 100 крад;
- логические микросхемы (Advanced Logic) SN51AC...-SP с радиационной стойкостью 50 крад;
- микросхемы управления питанием (Power Management) с радиационной стойкостью 30–150 крад – в данную группу входят более 25 типов микросхем DC/DC-преобразователей, линейных стабилизаторов напряжения, источников образцового напряжения, ШИМ-контролёров и драйверов двигателей.

### Усовершенствованные продукты

Микросхемы данной категории содержат в названии окончание EP (Enhanced Products), являются аналогами микросхем промышленного назначения и выпускаются в пластиковых

корпусах. Номенклатура микросхем этой категории в каталоге компании 2017 г. насчитывает сотни типов самого различного назначения и различающихся диапазонами рабочих температур (от  $-55...0^{\circ}\text{C}$  до  $+70...+125^{\circ}\text{C}$ ) [5].

### Продукты класса QML Class Q и высокотемпературные

В данную категорию включены микросхемы с максимальной рабочей температурой до  $210^{\circ}\text{C}$ , с длительным сроком службы и высокой надёжностью, определяемой военными стандартами. Микросхемы этой категории представлены практически во всех видах продуктов TI. Для их поиска на сайте компании имеется руководство процессом выбора высоконадёжных продуктов Texas Instruments Military and HiRel Products, Nomenclature and Process Flow [6].

### Преобразователи данных космического назначения

Классификационные параметры микросхем преобразователей данных космического назначения с высокой радиационной стойкостью из каталога TI 2017 г. приведены в таблице. Рассмотрим некоторые современные микросхемы этой группы более подробно (в скобках приведены даты выпуска последних редакций спецификаций).

**ADC10D1000QML-SP** (декабрь 2016г.) – одно из последних достижений компании в области сверхбыстродействующих АЦП. Микросхема выполнена в керами-

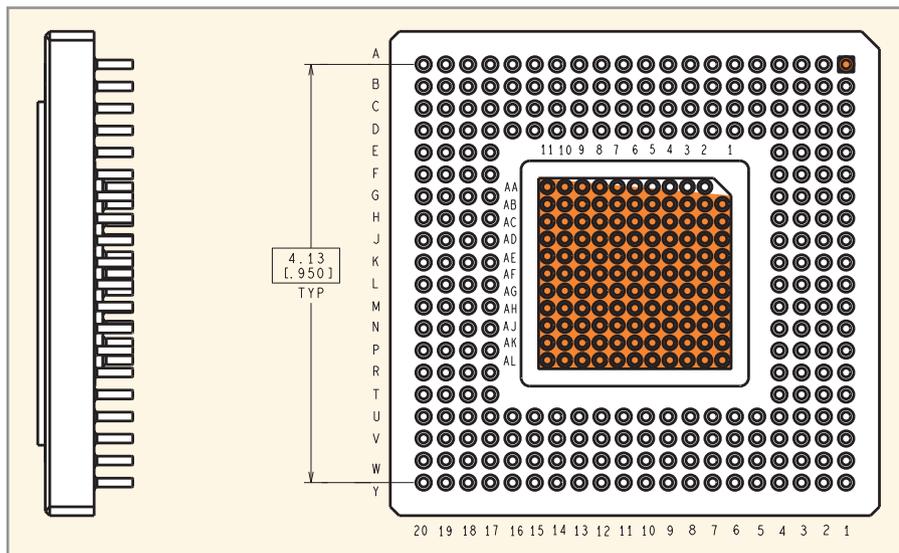


Рис. 5. Фрагмент габаритного чертежа микросхемы ADC10D1000QML-SP

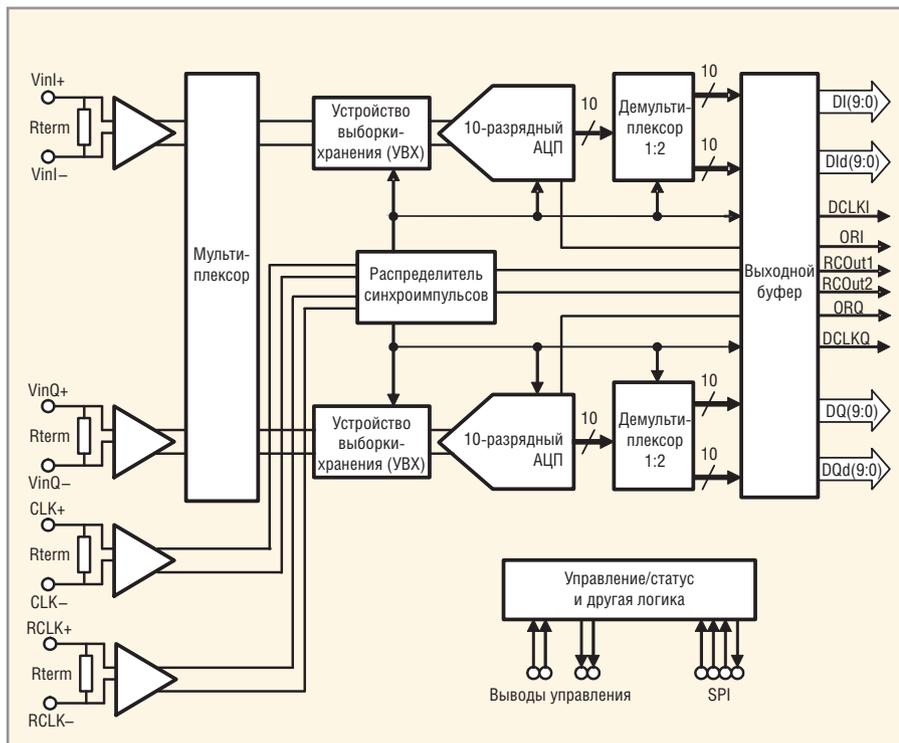


Рис. 6. Структура микросхемы ADC10D1000QML-SP

ческом корпусе с матрицей столбиковых выводов – CCGA (Ceramic Column Grid Array). Функциональный аналог в промышленном исполнении – ADC10D1000 в корпусе BGA. Фрагмент габаритного чертежа микросхемы ADC10D1000QML-SP в корпусе CCGA-376 приведён на рисунке 5, а структура прибора – на рисунке 6 (другое название корпуса – CPGA, Ceramic Pin Grid Array). Основные области применения микросхемы:

- широкополосные телекоммуникационные системы (Wideband Communications);
- прямое ВЧ-понижающее преобразование (Direct RF Down Conversion);
- астронавигация (Star Tracker).

При относительно малом энергопотреблении (2,9 Вт) микросхема обеспечивает высокие динамический диапазон с быстродействием 1 Гвыборок/с в двухканальном режиме и 2 Гвыборок/с в одноканальном режиме. Основные параметры и характеристики микросхемы:

- радиационная стойкость по накопленной дозе (Total Ionizing Dose) до 100 крад (Si);
- стойкость к единичным защёлкиваниям (Single-Event Latch-Up) до 120 МэВ·см<sup>2</sup>/мг;
- стойкость к единичным функциональным прерываниям (Single-

Event Functional-Interrupt Immune) до 120 МэВ·см<sup>2</sup>/мг;

- интерфейс для внешнего управления R/W SPI, выходной интерфейс LVDS;
- диапазон рабочих температур окружающей среды – 55...+125°C;
- напряжение питания 1,8...2 В (номинальное 1,9 В);
- динамический диапазон, свободный от искажений (SFDR), – 63 дБ, зависимость динамического диапазона АЦП от частоты выборок приведена на рисунке 7;
- отношение сигнал/шум – 56,8 дБ (на частоте 248 МГц).

**ADC128S102QML-SP** (август 2016г.) – 8-входовый 12-разрядный АЦП. На рисунке 8 приведена структура микросхемы. Прибор выполнен в керамическом корпусе SOIC-16 и обеспечивает такие же характеристики радиационной стойкости, что и уже описанная микросхема ADC10D1000QML-SP.

Микросхема ADC128S102QML-SP отличается малой потребляемой мощностью – 2,3 мВт при  $U_{\text{пит}} = 3 \text{ В}$  и 10,7 мВт при  $U_{\text{пит}} = 5 \text{ В}$ , скорость преобразования 50–1000 киловыборок/с. Управление микросхемой осуществляется через интерфейсы SPI, QSPI, MICROWIRE, обеспечивается совместимость с большинством цифровых сигнальных процессоров. Области применения микросхемы:

- космические аппараты (Satellites);
- высокотемпературные приложения (–55...+125°C);
- медицинские системы;
- акселераторы (Accelerators).

**ADS1282-SP** (декабрь 2016г.) – радиационно-стойкий сигма-дельта АЦП высокого разрешения с двумя дифференциальными входами, выполненный в керамическом корпусе CFP-29.

Основные области применения микросхемы:

- системы позиционирования спутников и слежения за температурами (Space Satellite Temperature and Position Sensing);
- спутниковые приборы для прецизионных измерений и научных приложений (Space Satellite Precision and Scientific Applications);
- высокоточные измерения (High-Accuracy Instrumentation).

Микросхема отличается высокой чувствительностью за счёт применения маломощного входного усилителя с программируемым усилением (PGA). Структура микросхемы приведена на рисунке 9. Прибор квалифицирован по военному стандарту QMLV (QML

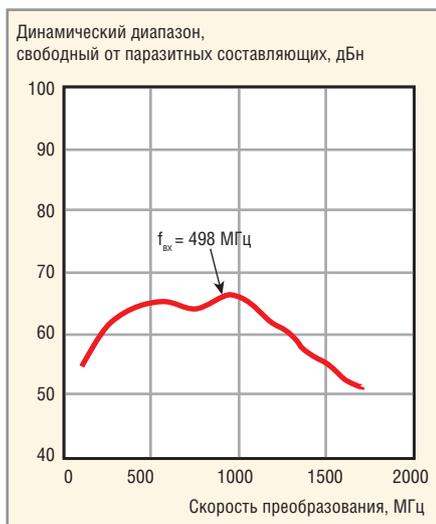


Рис. 7. Зависимость динамического диапазона АЦП ADC10D1000 от скорости преобразования

Class V) MIL-PRF38535 в части радиационной стойкости и диапазона рабочих температур (-55...+125°C).

Основные параметры и характеристики прибора:

- радиационная стойкость по накопленной дозе 50 крад (Si);
- стойкость к единичным защёлкиваниям до 40 МэВ•см<sup>2</sup>/мг;
- отношение сигнал/шум – 124 дБ, общий коэффициент гармоник (THD) – 102 дБ (при частоте 1000 выборок/с);
- потребляемая мощность – 25 мВт, напряжение питания – 5 В или ±2,5 В (аналоговые узлы), 1,75–3,3 В (цифровые узлы).

**DAC121S101QML-SP** (июль 2016 г.) – 12-разрядный микромощный ЦАП с выходом Rail-to-Rail, выполненный в керамическом корпусе SOIC-10. Структура микросхемы приведена на рисунке 10.

Области применения микросхемы:

- спутниковые системы определения координат (Satellite Altitude and Orbit Control);
- прецизионные спутниковые датчики (Satellite Precision Sensors);
- устройства управления двигателями (Satellite Motor Control);
- высокотемпературные приложения.

Прибор обеспечивает такие же параметры радиационной стойкости и диапазон рабочих температур, как и рассмотренный АЦП ADC10D100QML-SP. Основные особенности и параметры микросхемы:

- потребляемая мощность – 0,52 мВт (при U<sub>пит</sub> = 3,6 В в нормальном режиме), 0,014 мВт в экономичном режиме (Power-Down Mode);

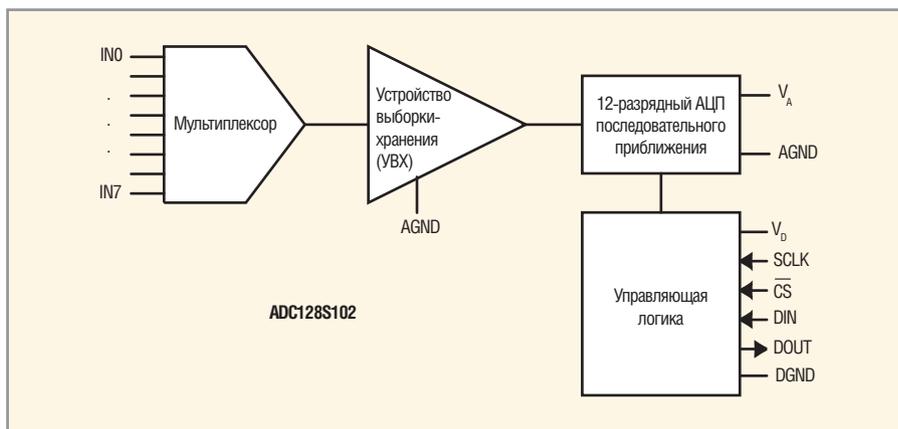


Рис. 8. Структура микросхемы ADC128S102QML-SP

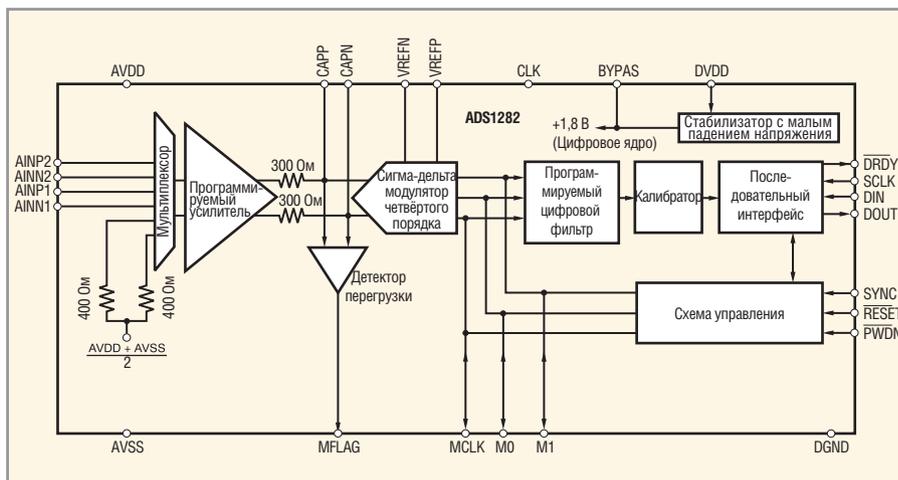


Рис. 9. Структура микросхемы ADS1282-SP

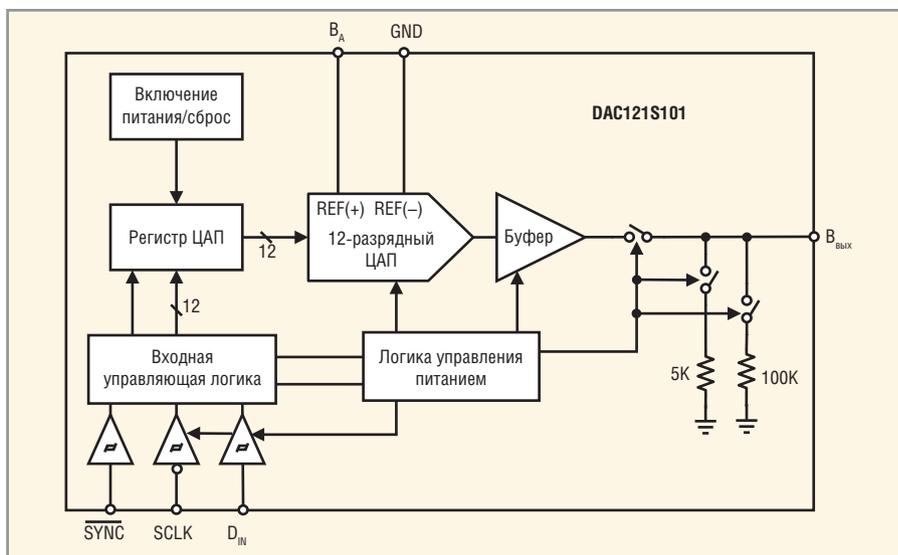


Рис. 10. Структура микросхемы DAC121S101QML-SP

- напряжение питания 2,7...5,5 В;
- выходное напряжение – 0...U<sub>пит</sub>, полный размах выходного напряжения (Full-Scale Output) – 2,997/4,992 В (при U<sub>пит</sub> = 3/5 В).

**DAC5675A-SP** (август 2016 г.) – 14-разрядный радиационно-стойкий ЦАП с производительностью 400 М выборок/с

(Update Rate), выполненный в керамическом корпусе CQFP-52 (Ceramic Quad Flat Package, другое название – HFG-52). Прибор квалифицирован по тем же стандартам, что и DAC121S101QML-SP. Микросхема отличается малой потребляемой мощностью – 660 мВт при U<sub>пит</sub> = 3,3 В и частоте выходного сигнала

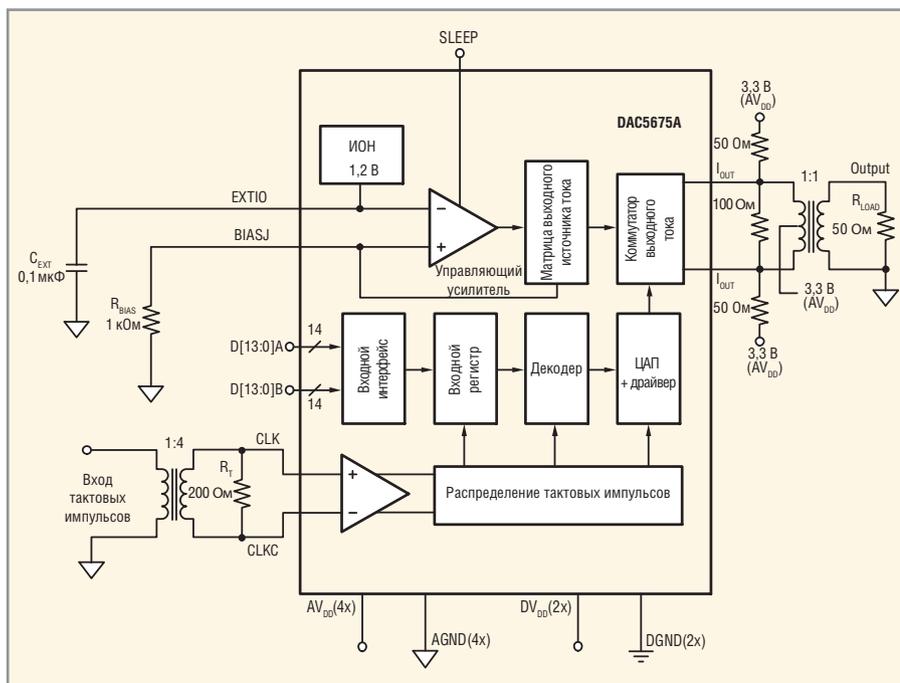


Рис. 11. Структура микросхемы DAC5675A-SP

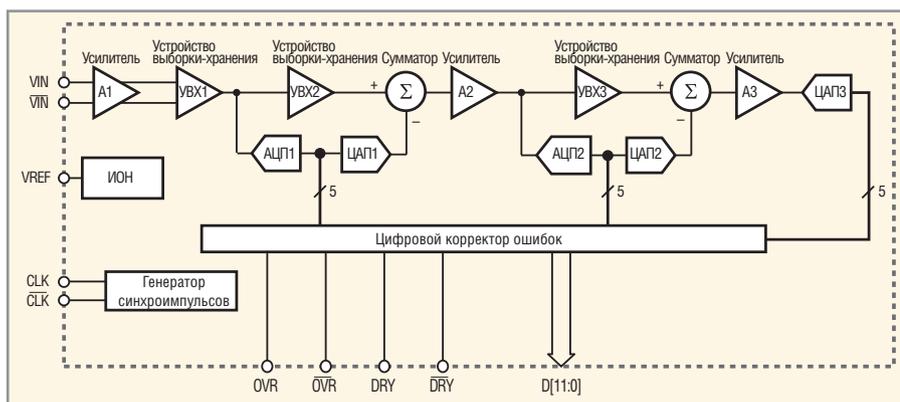


Рис. 12. Структура микросхемы ADS5463-SP

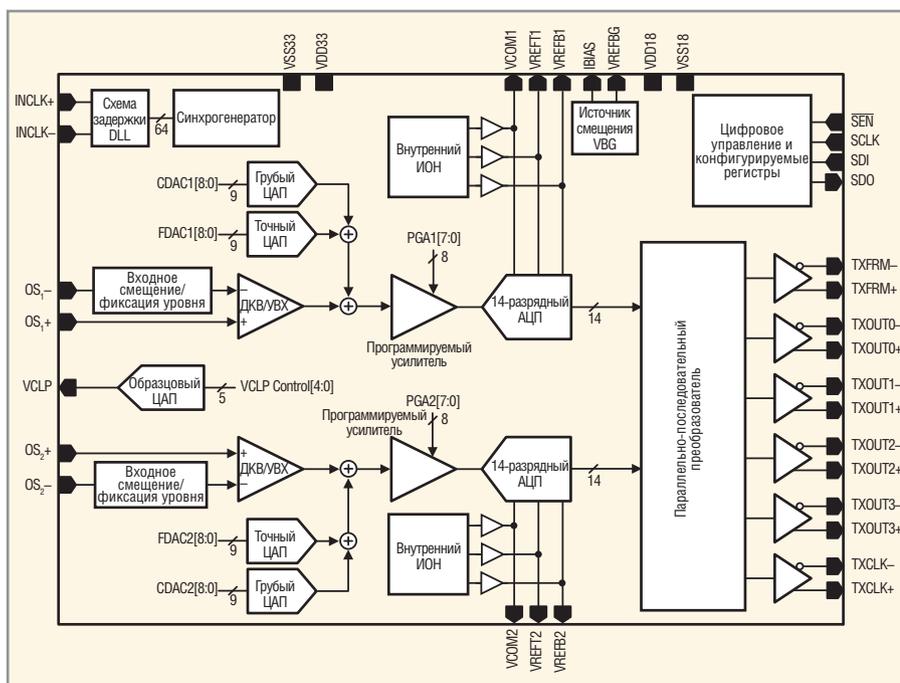


Рис. 13. Структура микросхемы LM98640QML-SP

ла 70 МГц. Применённый в микросхеме низковольтный интерфейс LVDS отлично подходит для согласования с КМОП-микросхемами специального назначения (ASIC) и ПЛИС.

Основные области применения микросхемы:

- спутниковые системы высокоскоростной передачи данных (Space Satellite RF Data Transmission);
- трансиверы сотовых базовых станций с модуляцией CDMA, WCDMA, CDMA2000, TDMA, GSM, IS-136, EDGE/GPRS;
- ВЧ-системы прямого цифрового синтеза частот (RF Direct Digital Synthesis);
- спутниковые измерительные приборы.

Дифференциальные тактовые вход и выход микросхемы специально разработаны для согласования с изолирующими трансформаторами для подключения линий с волновым сопротивлением 50 Ом. На рисунке 11 показано типовое включение микросхемы. Основные особенности и параметры ЦАП:

- динамический диапазон, свободный от искажений SFDR – 69 дБ при  $f_{вх} = 70$  МГц и частоте обновления 400 Мвыборок/с;
- коэффициент мощности в соседнем канале (ACPR, Adjacent Channel Power Ratio) для W-CDMA – 73 дБн ( $f_{вх} = 30,7$  МГц,  $f_{обновления} = 122,88$  Мвыборок/с);
- масштабируемый дифференциальный выходной ток – 2...20 мА;
- встроенный источник образцового напряжения 1,2 В.

**ADS5463-SP** (2015 г.) – радиационно-стойкий 12-разрядный АЦП с быстродействием 500 Мвыборок/с, выполненный в керамическом корпусе CFP-84. Структура микросхемы приведена на рисунке 12.

Основные области применения микросхемы:

- испытательное и измерительное оборудование;
- программно-конфигурируемые радиосистемы (Software-Defined Radio);
- преобразователи данных;
- телекоммуникационные измерения.

АЦП содержит LVDS-совместимый цифровой выход (при напряжении питания 5 В или 3,3 В). Основные особенности и параметры микросхемы:

- радиационная стойкость по накопленной дозе 100 крад (Si);
- отношение сигнал/шум и динамический диапазон SFDR – 64,5 дБ на

частоте 450 МГц и скорости преобразования 500 Мвыборок/с;

- LVDS-совместимый выход, дифференциальное входное напряжение до 2,2 В;
- интегрированные входной буфер, источник образцового напряжения и устройство выборки хранения;
- диапазон рабочих температур –55...+125°C.

**LM98640QML-SP** (2015 г.) – двоянный 14-разрядный радиационно-стойкий аналоговый входной блок Front End с LVDS-выходом, выполненный в керамическом корпусе CQFP-64. Структура микросхемы приведена на рисунке 13. Прибор с производительностью 5–40 Мвыборок/с ориентирован на приложения, связанные с обработкой изображений при космической съёмке.

Основные области применения микросхемы:

- электронные схемы управления фотокамер (Focal Plan Electronics);
- системы визуальной ориентации и управления положением спутников (Imaging Attitude Control Systems);

• автоматизированные системы машинного зрения (Factory Automation Vision Systems);

- высокоскоростные сканеры документов (High-Speed Document Scanners);
- многофункциональные периферийные устройства (Multi-Function Peripherals).

Микросхема рассчитана на работу с датчиками изображения ПЗС и CIS (Contact Imaging Sensor), для чего содержит схемы выборки-хранения (УВХ) и двойной коррелированной выборки (ДКВ/CDS, Correlated Double Sampling). Обе схемы содержат усилители с программируемым усилением и устройства коррекции смещения ЦАП. Основные особенности и параметры микросхемы:

- параметры радиационной стойкости и диапазон рабочих температур те же, что и у описанного АЦП ADC10D1000QML-SP;
- мощность потребления составляет 125 мВт на канал при напряжении питания 3,3 В и скорости преобразования 15 Мвыборок/с;
- схемы ДКВ и УВХ для ПЗС- и CIS-датчиков изображения с программируемым усилением 0 и 6 дБ;

• программируемое усиление в каждом канале – 256 шагов в диапазоне –3...+18 дБ;

• уровень шумов (Noise Floor) 79 дБ.  
В заключение следует отметить, что микросхемы космического назначения с успехом могут быть использованы для всех приложений с жёсткими и особо жёсткими условиями эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Texas Instruments. [www.ti.com/lstds/ru/homepage.page](http://www.ti.com/lstds/ru/homepage.page).
2. Transistor History. <https://sites.google.com/site/transistorhistory/Home/us-semiconductor-manufacturers/ti>.
3. Space & High Reliability. [www.ti.com/lstds/ti/space-high-reliability/overview.page](http://www.ti.com/lstds/ti/space-high-reliability/overview.page).
4. *Петровавловский Юрий*. Радиационно-стойкие микросхемы компании Atmel. Современная электроника. 2012. №7.
5. Enhanced Products (EP) Orderables. [www.ti.com/lit/an/sboa153a/sboa153a.pdf](http://www.ti.com/lit/an/sboa153a/sboa153a.pdf).
6. Texas Instruments Military and HiRel Products. [www.ti.com/lit/an/sboa142/sboa142.pdf](http://www.ti.com/lit/an/sboa142/sboa142.pdf).



[www.jtagtechnologies.ru](http://www.jtagtechnologies.ru)

**JTAG**  
TECHNOLOGIES®

## JTAG ProVision – самая совершенная программа для периферийного сканирования на сегодняшний день

Автоматическая генерация тестов

Русскоязычный интерфейс

Скрипты для создания продвинутых тестов

Десятки тысяч готовых моделей ЭКБ

Последовательности для производства

Представительство JTAG Technologies в России  
Телефон: (812) 313-9159  
E-mail: [russia@jtag.com](mailto:russia@jtag.com)

Эксклюзивный дистрибьютор: ООО «Остек-Электро»  
Телефон: (495) 788-4444  
E-mail: [info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru)

Реклама