

32-РАЗРЯДНЫЙ АЦП ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ С НАСТРАИВАЕМОМ ЦИФРОВЫМ ФИЛЬТРОМ



В статье рассмотрены основные характеристики 32-разрядного АЦП последовательных приближений, предназначенного для систем контроля и измерений. Наличие встроенного программируемого цифрового фильтра и устройства прореживания отсчетов дает возможность сконфигурировать АЦП для выполнения различных задач. Динамический диапазон нового АЦП может достигать 148 дБ, что позволяет производить измерение малых сигналов с высокой точностью.

В. Макаренко

В апреле 2017 года Linear Technology, являющаяся одним из подразделений Analog Devices, анонсировала и начала выпуска АЦП поразрядного уравнивания сверхвысокой точности LTC2500-32. АЦП LTC2500-32 является частью семейства высокоточных АЦП, включающего две ИМС – 32-разрядную LTC2508-32, оптимизированную для систем сбора данных, и 24-разрядную LTC2512-24, оптимизированную для обработки сигналов [1].

Основные параметры АЦП:

- отношение сигнал/шум 104 дБ при частоте дискретизации 1 МГц и 148 дБ при частоте дискретизации 61 Гц
- интегральная нелинейность не более $\pm 0,5$ ppm (типичное значение)
- гарантированные 24 разряда без пропуска кодов
- конфигурируемый цифровой фильтр с синхронизацией
- снижены требования к ФНЧ на входе АЦП (Anti-Aliasing Filter)
 - два выхода кода
 - 32-разрядный цифровой фильтр с низким уровнем шума
 - 24-разряда в дифференциальном включении без применения цифрового фильтра
 - детектор перегрузки входов АЦП
 - диапазон рабочих температур от -40 до 85 °C
 - SPI-совместимый последовательный интерфейс ввода-вывода
 - малая потребляемая мощность – 24 мВт при частоте дискретизации 1 МГц

e-mail: ekis@vdm.ais.ua

32-BIT OVER-SAMPLING ADC WITH CONFIGURABLE DIGITAL FILTER

Abstract – The article describes the main characteristics of the 32-bit ADC of successive approximations, designed for control systems and measurements. A built-in programmable digital filter and device thinning of the samples makes it possible to configure the ADC to perform a variety of tasks. The dynamic range of the new ADC can reach 148 dB, which allows to measure small signals with high accuracy.

V. Makarenko

- 24-выводный корпус 7×4 мм.

Структурная схема АЦП приведена на рис. 1.

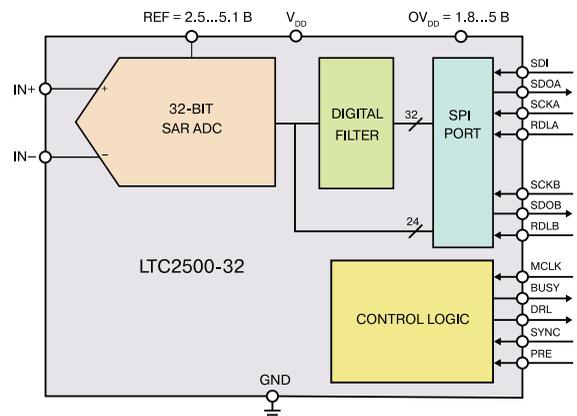


Рис. 1. Структурная схема АЦП LTC2500-32

Основное назначение АЦП:

- сейсмология
- контроль в энергетических системах
- автоматическое испытательное оборудование
- высокоточная измерительная техника.

Встроенный цифровой фильтр позволяет реализовать семь типов фильтров и использовать 13 коэффициентов передискретизации, что позволяет осуществлять настройку АЦП под различные задачи. Изменяя полосу пропускания фильтра, можно минимизировать шумы для различных приложений.

Максимальная интегральная нелинейность не превышает ± 2 ppm, погрешность полной шкалы не более ± 100 ppm, дрейф полной шкалы не более 0.05 ppm/°C.

Передаточная функция LTC2500-32 приведена на рис. 2. При числе разрядов 32 и дифференциальном включении входов значение напряжения единицы младшего разряда (EMP) составляет $2V_{REF}/232 = 2,3$ нВ при значении опорного напряжения V_{REF} равным 5 В.

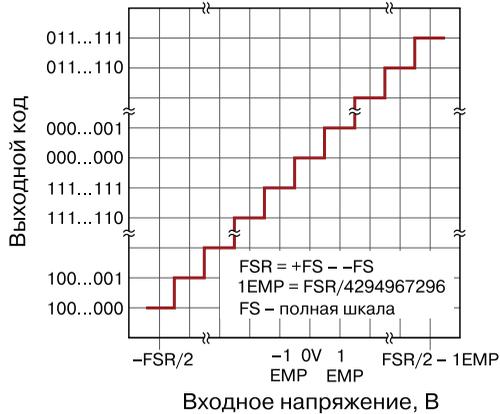


Рис. 2. Передаточная функция LTC2500-32 при дифференциальном включении входов

Входы АЦП защищены от перегрузок и имеют низкое входное сопротивление (40 Ом/45 пФ). Для согласования АЦП с несимметричными высокоомными источниками сигналов необходимо использовать драйвер, рекомендуемая схема включения которого приведена на рис. 3.

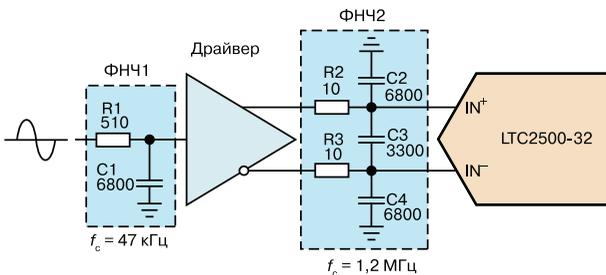


Рис. 3. Пример использования драйвера для согласования сопротивления источника сигнала и входного сопротивления АЦП

В примере, приведенном на рис. 3, полоса частот сигнала ограничена значением частоты среза ФНЧ1, а ФНЧ2 служит для ограничения шумов, создаваемых ИМС драйвера. Для того чтобы ФНЧ не вносили искажений необходимо использовать в них высококачественные резисторы и конденсаторы. Производитель АЦП рекомендует использовать для этих целей металлопленочные резисторы и слюдя-

ные конденсаторы с группой ТКЕ МПО (NPO).

Напряжение смещения между входами АЦП, вызванное падением напряжения на резисторах ФНЧ2 при протекании входных токов АЦП, может быть рассчитано по формуле

$$V_E = (R_2 + R_3)(I_{L1} - I_{L2})/2 + (R_2 - R_3)(I_{L1} + I_{L2})/2,$$

где I_{L1} и I_{L2} – входные токи первого и второго входов АЦП.

Для оптимальной работы рекомендуется, чтобы сопротивление резисторов R_2 и R_3 не выходило за пределы диапазона 5...50 Ом. Чем меньше значение сопротивления этих резисторов, тем меньше погрешность, возникающая за счет разности входных токов.

При симметричном источнике сигналов рекомендуется использовать схему согласования, приведенную на рис. 4. При использовании повторителей напряжения на ОУ LT6203 (со спектральной плотностью шума 1.9 нВ/√Гц) реализуется динамический диапазон АЦП равный 103 дБ (рис. 5).

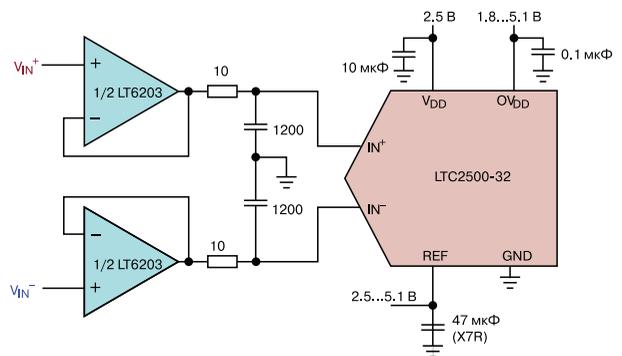


Рис. 4. Схема согласования АЦП с симметричным источником сигнала

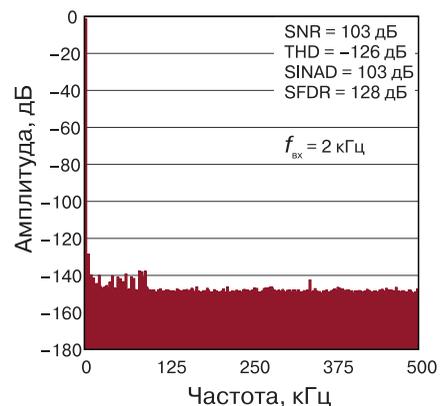


Рис. 5. Спектр сигнала на выходе АЦП (БПФ 128 точек) для схемы на рис. 4

В [1] приведено еще несколько схем включения АЦП в режиме с симметричными и несимметричным входом для сигналов как постоянного, так и переменного тока, позволяющие реализовать наивысшие параметры преобразователя.

Особенностью АЦП является режим работы с компрессией цифрового сигнала (Digital Gain Compression – DGC). Он может быть использован в том случае, когда при однополярном питании буферного усилителя он обеспечивает линейный режим работы в диапазоне входных напряжений от 10 до 90% от напряжении источника питания. В этом режиме работы обеспечивается полная шкала выходного кода несмотря на ограниченный диапазон сигнала на выходе драйвера.

На рис. 6 приведена схема включения АЦП при работе с двухполярным входным сигналом с включенным режимом DGC.

Другой режим работы позволяет осуществлять экспандирование цифрового сигнала (Digital Gain Expansion – DGE). Этот режим используется в режиме калибровки системы и позволяет увеличить значение выходного кода от величины $\pm V_{REF}$ до $\pm 1.0078 V_{REF}$. На рис. 7 показано как изменяется передаточная функция преобразователя в этом режиме.

Возможна работа АЦП с использованием режимов DGC и DGE одновременно.

Для получения максимальной разрешающей способности АЦП необходимо использовать внешний источник опорного напряжения с низким уровнем шума и малым значением дрейфа выходного напряжения.

Источник опорного напряжения LTC6655-5 удовлетворяет всем этим требованиям. Погрешность установки опорного напряжения не превышает 0,025%, а температурный коэффициент – 2 ppm/°C.

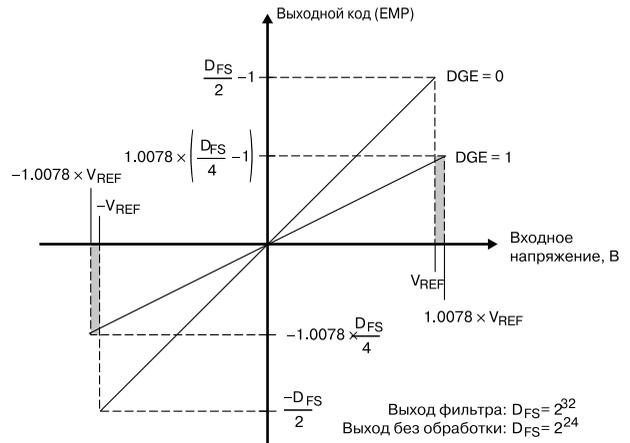


Рис. 7. Изменение передаточной функции преобразователя в режиме DGE

При выборе фильтрующих конденсаторов следует учесть, что с увеличением рабочего напряжения и габаритов конденсатора фильтра шум опорного источника уменьшается. В [1] рекомендуется использовать керамический конденсатор емкостью 47 мкФ (X7R, типоразмер 1210, рабочее напряжение 10 В). Располагать конденсатор следует как можно ближе к выводу REF.

Коэффициент децимации DF (Down-sampling Factor), показывающий во сколько раз уменьшается количество отсчетов, оказывает значительное влияние на динамический диапазон АЦП. При увеличении DF в четыре раза динамический диапазон расширяется примерно на 6 дБ на выходе цифрового фильтра.

Цифровой фильтр, структурная схема которого приведена на рис. 8, может работать в одном из семи режимов: sinc1, sinc2, sinc3, sinc4, spread-sinc (ssinc – близкий к идеальному ФНЧ), Flat passband (плоская АЧХ) и фильтр с усреднением отсчетов (averaging). На рис. 8 (C[3:0]) – код управления режимом работы цифрового фильтра, (C[7:4]) – код

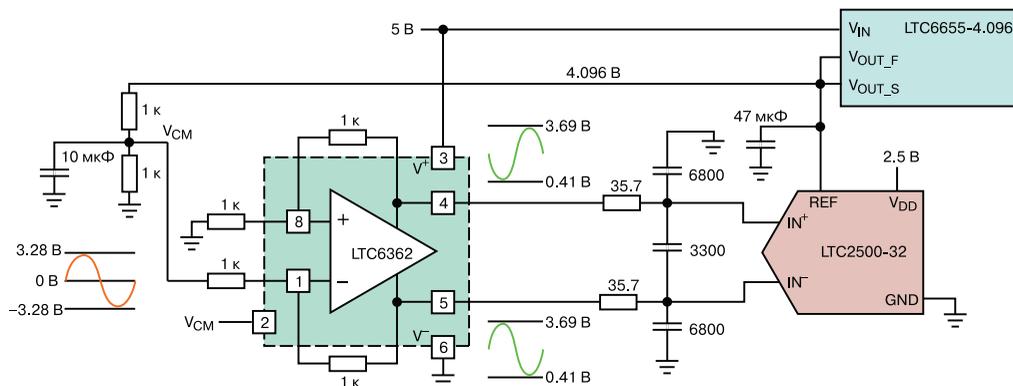


Рис. 6. Схема включения АЦП при двухполярном входном сигнале с включенным режимом компрессии цифрового сигнала

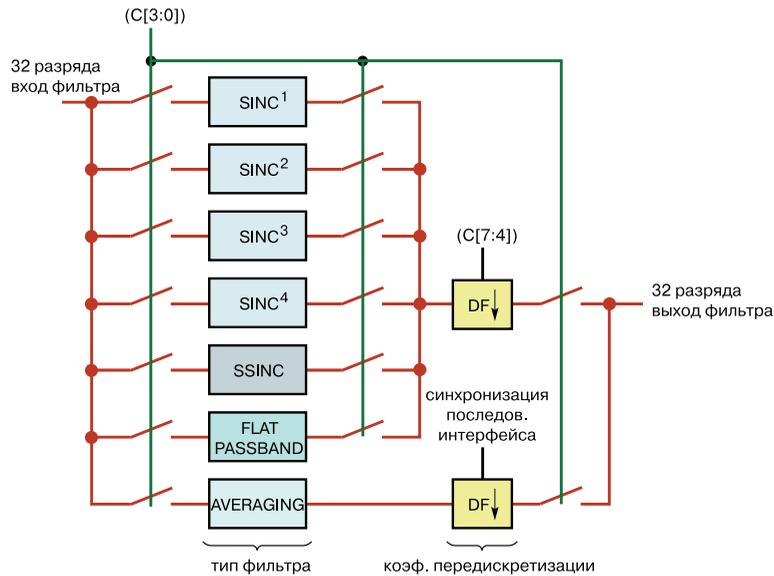


Рис. 8. Структурная схема цифрового фильтра

управления коэффициентом децимации.

Частотные характеристики фильтра в различных режимах работы при коэффициенте $DS = 4$ приведены на рис. 9.

Амплитудно-частотная характеристика фильтра в режиме Flat passband приведена на рис. 10. Неравномерность АЧХ в полосе пропускания не превышает ± 1 мдБ (красная кривая на рис. 10).

В [1] приведены таблицы с параметрами фильтров и значениями реализуемого динамического диапазона, пользуясь которыми можно задать частоту дискретизации, коэффициент децимации и режим работы цифрового фильтра.

На рис. 11 приведены зависимости динамического диапазона от коэффициента децимации при различных режимах работы цифрового фильтра

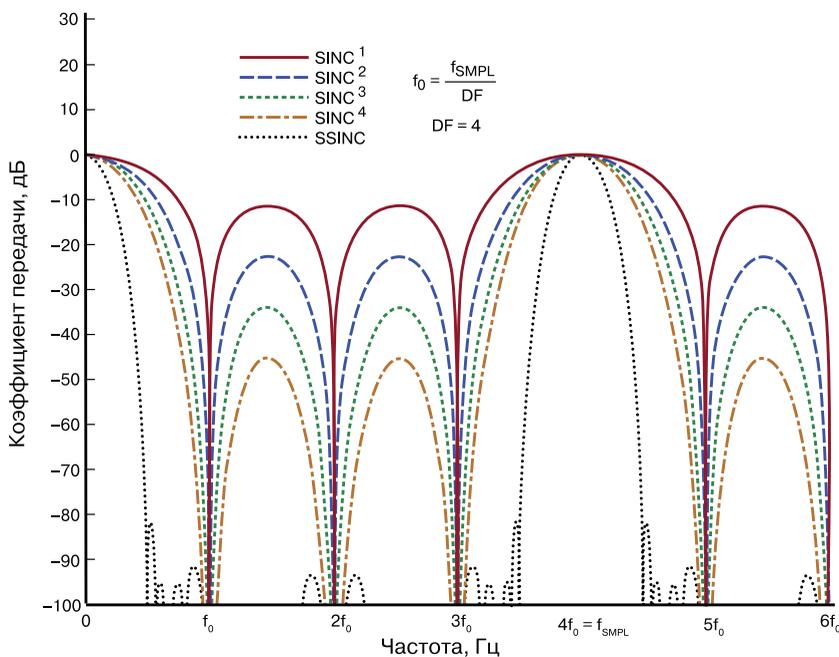


Рис. 9. АЧХ цифрового фильтра в различных режимах работы

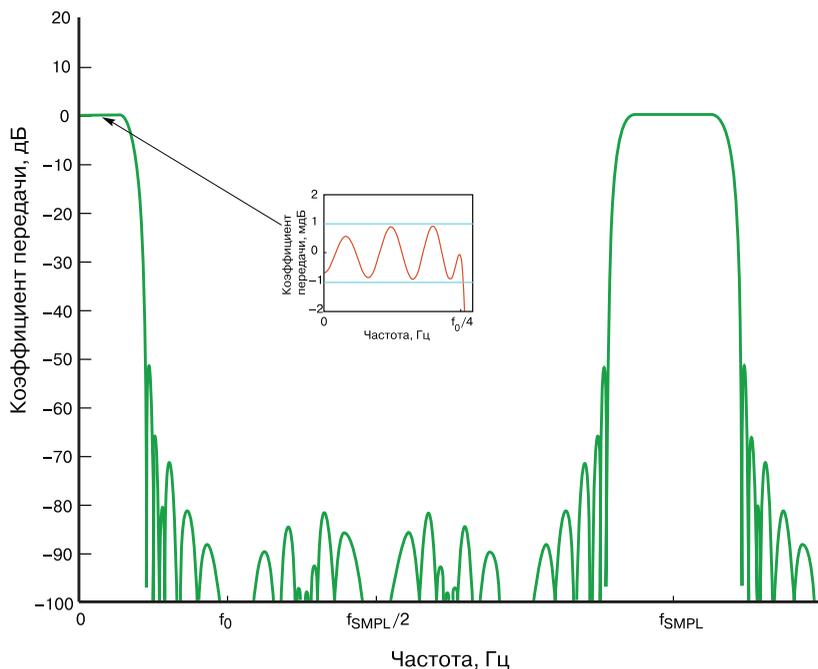


Рис. 10. АЧХ цифрового фильтра в режиме Flat passband

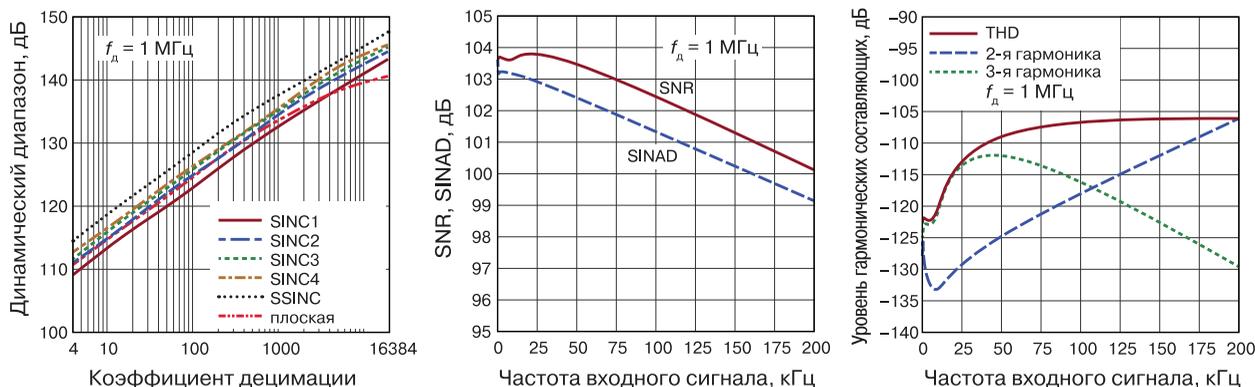


Рис. 11. Зависимости динамического диапазона от коэффициента децимации при различных режимах работы цифрового фильтра (а), частоты входного сигнала (б) и нелинейных искажений по второй и третьей гармонике от частоты входного сигнала (в)

(рис. 11,а), частоты входного сигнала (рис. 11,б) и нелинейных искажений по второй и третьей гармонике от частоты входного сигнала (рис. 11,в).

Импульсная переходная характеристика АЦП при различных режимах работы цифрового фильтра приведена на рис. 12.

В [1] дано подробное описание АЦП в различных режимах работы, схемы включения, схемы сопряжения с хост-контроллером, коды управления и временные диаграммы сигналов управления и информационных сигналов.

Еще одной особенностью АЦП является возмож-

ность параллельной работы нескольких АЦП с выходом на одну шину данных. На рис. 13 приведена схема параллельного включения двух АЦП (информационные аналоговые входы на схеме не показаны).

Хост-контроллер производит поочередный опрос АЦП, подавая сигнал опроса на входы RDLA. Выходы опрашиваемого АЦП переходят в активное состояние, а выводы второго – в третье состояние. При необходимости к одной шине можно подключить и большее количество АЦП.

Кратко подводя итоги, можно отметить, что такой АЦП дает возможность осуществлять преобра-

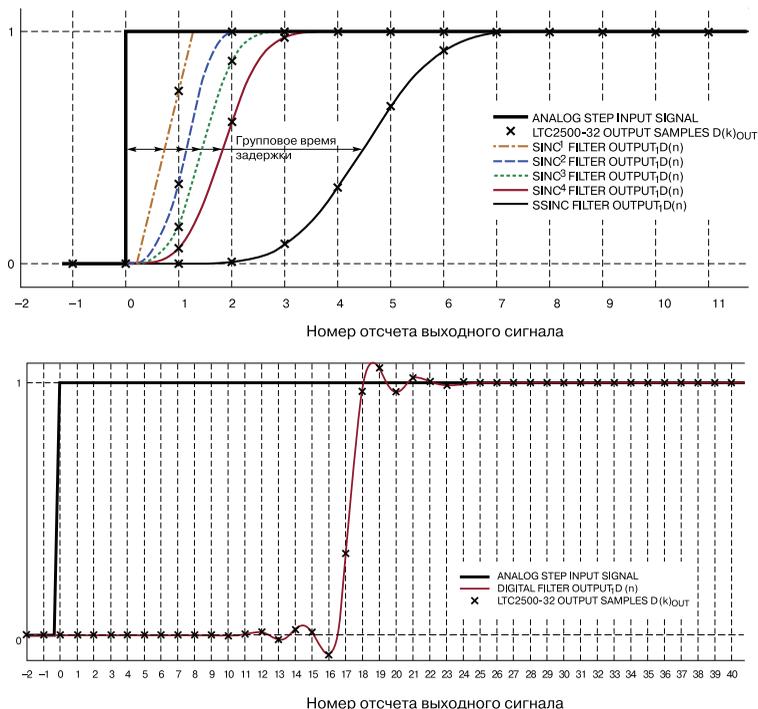


Рис. 12. Импульсная переходная характеристика АЦП при различных режимах работы цифрового фильтра

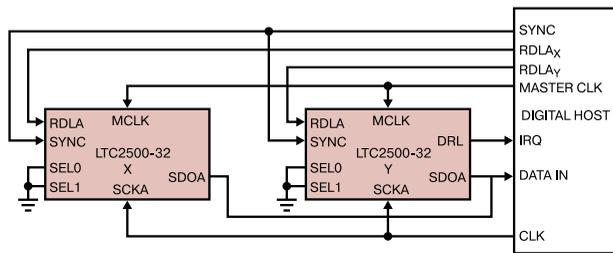


Рис. 13. Параллельное включение двух АЦП LTC2500-32

зование низкочастотных и инфранизкочастотных сигналов в динамическом диапазоне до 148 дБ, что является весьма значительной величиной. Но высокая частота дискретизации позволяет осуществлять

преобразование сигналов в диапазоне до нескольких сотен кГц с меньшим значением динамического диапазона. Наличие цифрового фильтра, позволяющего реализовать различные АЧХ, расширяет его функциональные возможности. Наличие устройства прореживания отсчетов с изменяемым значением коэффициента децимации позволяет не только управлять скоростью передачи данных на выход, но и регулировать динамический диапазон АЦП.

Более подробную информацию о АЦП LTC2500-32 можно найти в [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/250032f.pdf>.

VD MAIS
Печатные платы

- проектирование печатных плат
- технологическая подготовка производства
- изготовление любого количества плат:
 - по ГОСТ 23752-79
 - по стандарту IPC-A-600H
- проектирование и изготовление трафаретов для нанесения паяльной пасты.

Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO/TS 16949:2009 и ISO 13485:2003.
Цены – оптимальные.

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202
e-mail: info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

VD MAIS
Оборудование и материалы для монтажа/демонтажа электронных компонентов (ЭК)

- Паяльное и ремонтное оборудование
- Системы очистки воздуха
- Устройства трафаретной печати
- Системы установки компонентов
- Паяльные печи: конвекционной и селективной пайки, пайки волной
- Испытательное оборудование
- Системы визуального контроля
- Координатно-фрезерные станки
- Технологические материалы монтажа ЭК
- Средства антистатической защиты

Дистрибуция и прямые поставки:
AIM, Bernstein, Charleswater, Electrolube, Essemtec, KIC, Kolver, LPKF, Magic Ray, Miele, Nordson, Optilia, PACE, PDT, Hanwha Techwin, Seho, TWS, Vision, Weiss

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202
e-mail: info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua