

И.Н. Бирюков

Компоненты Texas Instruments для аудиоприложений. Часть 3. процессоры, интерфейсы и кое что еще.

Говоря о составляющих современных цифровых систем записи и воспроизведения звука, безусловно, нельзя обойти стороной процессоры цифровой обработки сигналов (ЦОС), – как универсальные цифровые сигнальные процессоры (ЦСП), так и специализированные процессоры аудиообработки. Если в полностью цифровой системе цифровой усилитель мощности заменил аналоговый, цифровые аудиопроцессоры и ЦСП заменили аналоговые эквалайзеры, регуляторы громкости и тембра, – точно так же на смену аналоговым интерфейсам пришли цифровые. Именно об аудиопроцессорах, специализированных сигнальных процессорах и цифровых интерфейсах и пойдет речь в настоящей, заключительной, части статьи. Помимо этого, в конце статьи совершим краткий экскурс по тем аналоговым устройствам для аудиоприложений, которые ранее нами не рассматривались.

Процессоры цифровой аудиообработки

TAS3001 – стереофонический цифровой аудиопроцессор

TAS3001 – это высококачественный 32-разрядный цифровой аудиопроцессор с фиксированными функциями. Устройство включает ряд встроенных функций обработки, а именно смешение/масштабирование двух цифровых стереосигналов, регулировку тембра по низким и высоким частотам, шесть стереофонических каскадно включенных высокочастотных БИХ-фильтров второго порядка, компрессию динамического диапазона, программную регулировку громкости и программный режим приглушения звука (mute). Все управление этими функциями осуществляется заданием желаемых рабочих параметров с использованием интерфейса I²S.

Архитектура TAS3001 обеспечивает высокое качество аудиосигнала за счет использования 32-разрядного информационного канала, умножителя 24×32 разряда и точностью до 56 бит для некоторых внутренних вычислений. За счет применения в цифровых фильтрах 24-разрядных коэффициентов, TAS3001 может с безукоризненной точностью реализовать практически любой БИХ-фильтр второго порядка.

TAS3001 поддерживает несколько форматов последовательной передачи данных (I²S, с левым и правым выравниванием) с длиной слова данных 16, 18 или 20 бит. Поддерживаемые частоты дискретизации включают 32 кГц, 44,1 кГц, 48 кГц и 96 кГц.

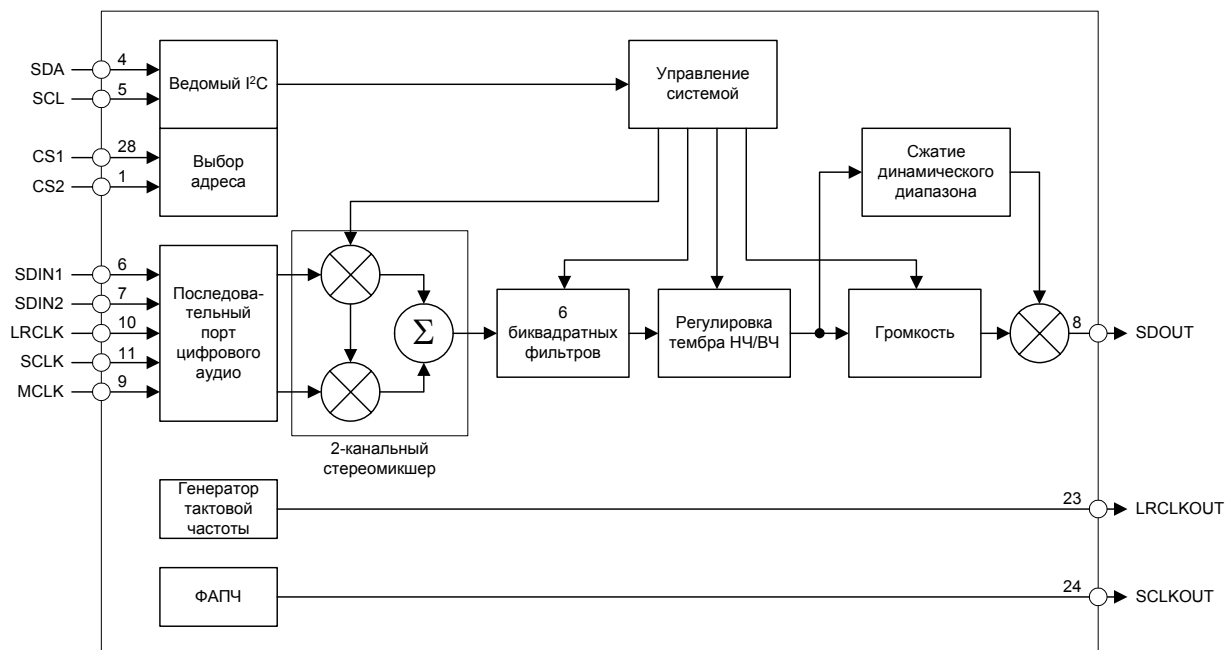


Рисунок 1. Прохождение сигнала в цифровом аудиопроцессоре TAS3001

TAS3001 содержит пять блоков аудиообработки.

- ❑ Два цифровых стереовхода, которые могут масштабироваться и смешиваться перед обработкой.
- ❑ Параметрический эквалайзер, который состоит из шести каскадированных независимых БИХ-фильтров второго порядка для каждого из стереоканалов. Каждый фильтр имеет пять 24-разрядных коэффициентов, которые можно сконфигурировать для выполнения большого количества функций фильтрации, таких как полосовой, ВЧ, НЧ, режекторный, фазовый, НЧ/ВЧ с шельфом, и т.д.
- ❑ Цифровая регулировка тембра по низким и высоким частотам
- ❑ Цифровая программная регулировка громкости и приглушение звука (функция mute)
- ❑ Сжатие динамического диапазона (DRC)

TAS3103 – трехканальный цифровой аудиопроцессор

На момент написания статьи это устройство еще не поставлялось, и его спецификация не была опубликована. Поэтому приведенные сведения являются предварительными, а дополнительная информация по мере опубликования может быть доступна на сайте Texas Instruments по адресу www.ti.com/sc/device/TAS3103.

Итак, TAS3103 представляет собой трехканальный 48-разрядный цифровой аудиопроцессор с 76-битным аккумулятором, обеспечивающий производительность 150 MIPS.

Процессор поддерживает частоты дискретизации от 8 до 96 кГц. Две интегральных схемы можно бесшовно объединить для выполнения шестиканальной аудиообработки.

Все регистры TAS3103 программируются через интерфейс I²C. Обеспечивается 6-канальное смешение как по входам, так и по выходам. Регулировка громкости и тембра осуществляется для каждого канала независимо. На каждом канале имеется по 12 биквадратных БИХ-фильтров второго порядка с возможностью перераспределения, что позволяет иметь до 16 фильтров на канал для реализации функциональности параметрического эквалайзера, графического эквалайзера или разделения спектра звукового сигнала.

На каждом из трех каналов имеется устройство задержки с пулом памяти, позволяющим реализовать задержку сигнала до 42 мс, что можно использовать для получения, например, эффекта реверберации или задержки сигнала при настройке систем многоканального окружающего звука под особенности помещения прослушивания.

Еще одна особенность TAS3103, это блок 3D-эффектов, реализующий различные алгоритмы пространственной обработки звуковой программы (расширение стереобазы, окружающий звук 3D Surround, обратное смешение шестиканального звука в двухканальный).

Другие особенности процессора TAS3103 включают:

- ❑ Спектроанализатор (пятиполосный стереофонический или десятиполосный монофонический);
- ❑ Сжатие/расширение динамического диапазона с тремя установками крутизны;
- ❑ Высококачественное конфигурируемое сглаживание (dither), устраняющее паразитные тона;
- ❑ Пространственное шестиканальное распределение и управление басами.

Этот весьма развитый цифровой аудиопроцессор, на который, к тому же, обещают установить разумную цену, окажется отличным выбором для применения в современных мини- и микросистемах, домашних театрах, автомобильных аудиосистемах.

TAS3002 – цифровой аудиопроцессор с кодеком

Стремление Texas Instruments предоставить своим заказчикам экономически выгодное решение для цифровой обработки звука не только в истинно цифровой, но и в аналоговой среде, привело к созданию микросхемы, объединяющей на кристалле 32-разрядный цифровой аудиопроцессор и 24-разрядный стереокодек. Применение такой «системы-на-чипе», наряду с другими интегрированными решениями, позволяет существенно снизить как стоимость разработки, так и стоимость целевого устройства. Такое комбинированное решение по цифровой обработке сигналов в аналоговых аудиоустройствах позволяет, в частности, строить эквалайзеры с гораздо более высокой точностью и с лучшим качеством звукопередачи, по сравнению с традиционными аналоговыми решениями. Кроме того сопоставимая двухканальная аналоговая цепь займет до трех раз больше места на печатной плате и потребует в семь раз больше компонентов, а реализация других возможностей TAS3002, таких как регулировка громкости и тембра, в аналоговом исполнении потребует еще больше места и компонентов.

Микросхема содержит двухканальный 24-разрядный кодек, что позволяет устанавливать TAS3002 в полностью аналоговую систему (См. рис. 2). АЦП кодека передает оцифрованный сигнал встроенному аудиопроцессору, который, в свою очередь, передает поток обработанных данных на вход ЦАП. На выходе ЦАП получаем аналоговый стереосигнал. Предусмотрена возможность цифрового смешения стереосигналов для получения третьего сигнала, который может рассматриваться как центральный канал в системах пространственного звука, или как канал сабвуфера.

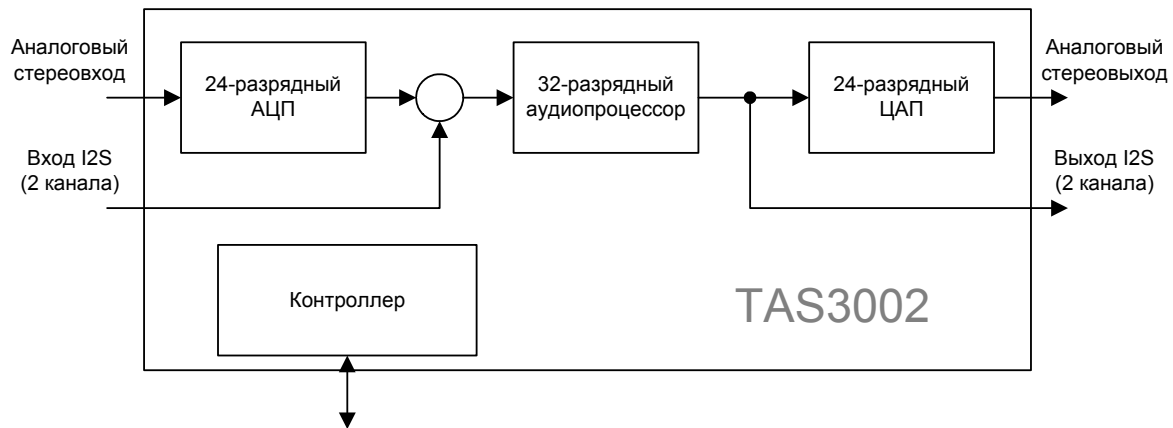


Рисунок 2. Структурная схема аудиопроцессора с кодеком TAS3002

Встроенный аудиопроцессор содержит по семь цифровых БИХ-фильтров второго порядка на каждый стереоканал. Каждый фильтр имеет пять 24-разрядных коэффициентов, позволяющих с высокой точностью реализовать различные функции фильтрации. Коэффициенты фильтров, как и все другие параметры аудиопроцессора, – такие как коэффициенты встроенного алгоритма задания закона регулировки громкости, параметры сжатия/расширения динамического диапазона, громкость и тембр, – загружаются через интерфейс I²C с внешнего микроконтроллера в режиме slave, или из внешнего ППЗУ в режиме master. TAS3002 имеет шесть входов общего назначения, которые могут быть внутренне сконфигурированы (все через тот же интерфейс I²C) для управления громкостью, тембром и выбором функции фильтра для коррекции частотной характеристики.

TAS3004 – цифровой аудиопроцессор с кодеком

По сути, TAS3004 – полный аналог TAS3002. Единственное отличие, это наличие режима монохода, когда монофонический аналоговый сигнал после оцифровки в АЦП поступает на оба выхода АЦП. Это позволяет осуществлять формирование псевдостереосигнала из монофонического, либо реализовать цифровой разделительный фильтр в многополосных активных громкоговорителях.

Специализированные ЦСП для аудиообработки

В производственной программе Texas Instruments присутствуют несколько интересных устройств, а именно цифровые сигнальные процессоры, оптимизированные для задач цифровой обработки звуковых сигналов. Несмотря на то, что информация по этим изделиям на веб-сайте корпорации практически отсутствует (то ли потому что они предназначены исключительно для корпоративных заказчиков, то ли еще не начато их

промышленное производство), было бы несправедливо не сказать о них хотя бы пару слов.

В принципе, любой высокопроизводительный ЦСП с плавающей или фиксированной точкой (семейства TMS320C6000 и TMS320C5000) может найти, и находит, применение в современных высококлассных системах звуковоспроизведения и звукозаписи, так как они полностью совместимы по интерфейсам с АЦП, ЦАП, кодеками, трансмиттерами и ресиверами, ориентированными на аудиообработку. Об этих процессорах было написано уже много. Информацию о них можно найти как во всемирной паутине, так и в многочисленных печатных изданиях. Специализированные процессоры, о которых мы сейчас говорим, наследуют архитектуру и периферийные устройства от ЦСП общего назначения, но при этом имеют и дополнительную функциональность.

TMS320DA150 и TMS320DA250 – ЦСП для интернет-радио

TMS320DA150 – это 16-разрядный цифровой сигнальный процессор (ЦСП) с фиксированной точкой с производительностью 160 MIPS, выпускаемый в миниатюрных корпусах MicroStar BGA™. TMS320DA150 содержит 128 К слов оперативной памяти и 16 К слов ПЗУ, три многоканальных буферизованных последовательных порта (McBSP), 8- и 16-разрядные интерфейсы хост-порта (HPI) и 6-канальный контроллер ПДП. Основное отличие от ЦСП общего назначения – это ПЗУ, предварительно прошитое специализированным программным обеспечением, таким как библиотеки для работы с AAC, ADPCM, MP3, WMA, WAV и т.п.

Производительность, гибкость и уровень интеграции TMS320DA150 позволяют реализовать однокристалльные решения для таких расширенных возможностей, как поддержка файловой системы UDF (работа с CD-RW как с обычной дискетой), 480-секундная антишоковая буферизация в MP3, WMA, AAC, 120-секундный антишок при воспроизведении CD, многосеансовость, многорежимность и обновление программного обеспечения с CD.

В то время, как TMS320DA150 построен на основе ядра TMS320C54x, TMS320DA250 ведет свою родословную от новейших ЦСП семейства TMS320C55x. Помимо большего объема ПЗУ (32 К слов) и более высокой производительности (200 MIPS), он позволяет выполнять одновременно две инструкции MAC (умножение с накоплением – базовая операция в реализации цифровых фильтров). Кроме того, TMS320C55x содержит контроллер USB 2.0, часы реального времени (RTC), сторожевой таймер и 10-разрядный АЦП для вспомогательных задач. Место ЦСП TMS320DA250 в составе портативного интернет-аудиоплеера представлено на рисунке 3.

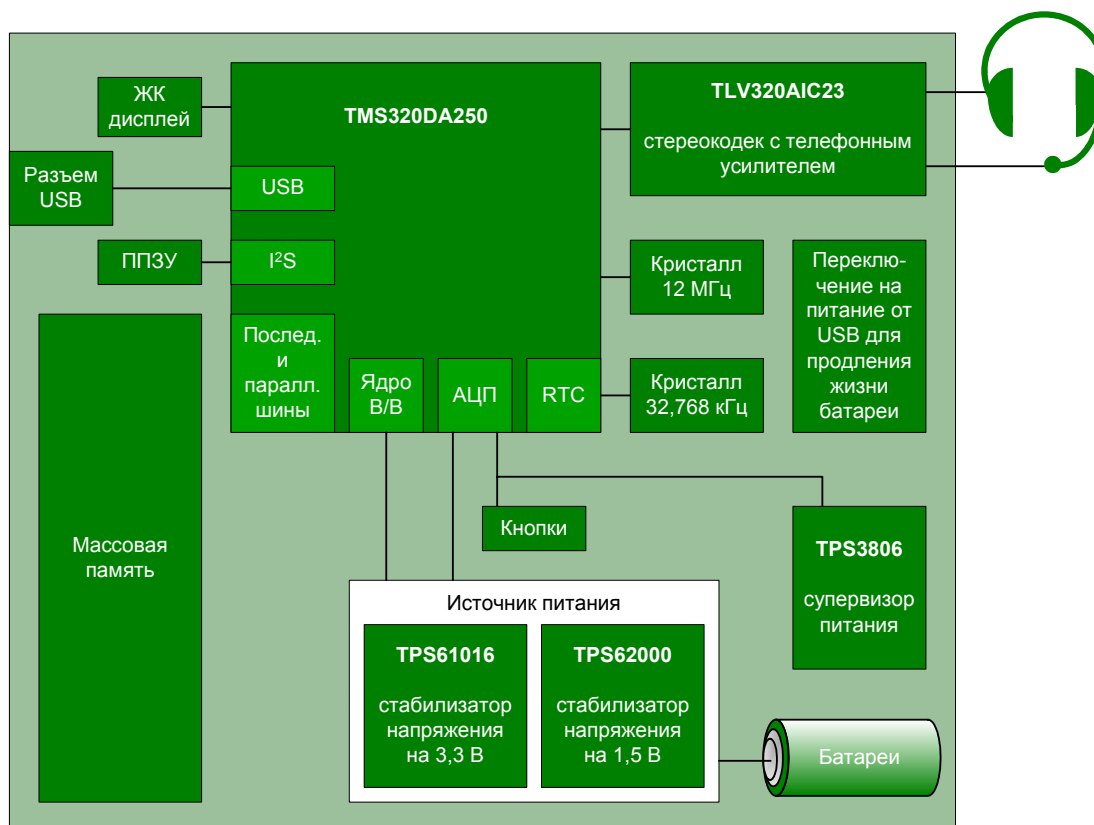


Рисунок 3. Структура портативного интернет-аудиоплеера

ЦСП TMS320DA150 и TMS320DA250 позиционируются TI для применения, в первую очередь, в системах интернет-аудио, однако могут с успехом использоваться в портативных аудиоплеерах, автомобильных стереосистемах и во многих других аудиоприложениях.

TMS320DA610 – специализированный ЦСП с плавающей точкой

При проектировании систем домашних театров класса High-End может возникнуть потребность в реализации алгоритмов цифровой обработки звуковой программы, не реализованных в обычных аудиопроцессорах и требующих значительной вычислительной мощности. Именно для таких задач был разработан ЦСП TMS320DA610, обеспечивающий, при работе на частоте 225 МГц, производительность 1800 MIPS или 1350 MFLOPS. TMS320DA610 объединяет на кристалле 3 Мб ОЗУ, 2 Мб ПЗУ, два очень гибких многоканальных аудиопорта (McASP) с 16 стереоканалами I²S и четырьмя независимыми зонами тактовой синхронизации. Высокая производительность, гибкость и уровень интеграции ЦСП позволяют реализовать на одном кристалле такие развитые возможности, как автоматическая коррекция свойств помещения прослушивания и виртуализация громкоговорителей.

Интерфейсы цифрового аудио

Наибольшее распространение в цифровых системах аудиообработки получили интерфейсы S/PDIF (для бытовой аппаратуры) и AES/EBU (применяется в студийном оборудовании). Используются, хоть и значительно реже, и другие интерфейсы.

В своем стремлении предложить потребителям полный набор компонентов от одного поставщика для построения систем цифрового аудио, Texas Instruments разработала и запустила в производство всеобъемлющий набор интерфейсных устройств, а именно ресиверы и трансмиттеры, реализующие стандартные протоколы цифрового аудио (из производственной программы Burr-Brown), а также ряд устройств для передачи звуковой информации по интерфейсу USB.

Немного о терминологии. По видимому, правильней было бы использовать термины приемники и передатчики. Однако на рынке бытовой аудиоаппаратуры сложилась традиция транслитерации. Отсюда и такие слова, как джиттер, ресивер, трансмиттер. Поэтому не будем качать права и ломать устоявшуюся терминологию. Итак, поговорим о трансмиттерах и ресиверах.

DIR1701 и DIR1703 – цифровые аудиоресиверы

DIR1701 и DIR1703 – это ресиверы (приемники) цифрового аудиоинтерфейса. Их назначение – получить и декодировать поток аудиоданных с частотой до 96 кГц в соответствии с потребительскими и профессиональными форматами S/PDIF, AES/EBU, IEC958 и EIAJ CP340/1201. Оба устройства демultipлексируют бит состояния канала (channel status bit) и бит пользователя (user bit) непосредственно на контакты последовательного вывода, а также имеют выделенные выводы для наиболее важных битов состояния канала. Помимо этого, DIR1703 предоставляет исчерпывающую информацию об ошибках.

Особенностью рассматриваемых ресиверов является восстановление синхронизации с малым дрожанием (джиттером) посредством патентованной системы адаптивного слежения за периодом отсчетов (SpAct™). Применение системы SpAct позволило достичь уровня дрожания выходного сигнала менее 80 пикосекунд (75 пс для DIR1703). А возможность работы с частотой до 96 кГц позволяет реализовать прямой интерфейс с любыми кодеками, имеющими такую же частоту выборки.

DIT4096 и DIT4192 – цифровые аудиотрансмиттеры

Эти два устройства предназначены для передачи цифрового потока аудиоданных между различными блоками составной аудиосистемы. DIT4096 и DIT4192 полностью совместимы с интерфейсами AES-3, IEC-60958 и EIAJ CP1201. Если максимальная частота выборки для DIT4096 составляет 96 кГц, то у DIT4192 она взлетает до 192 кГц. Устройства могут конфигурироваться как аппаратно, так и программно, что позволяет использовать их как в системах с микроконтроллером, так и без него. Поток аудиоданных поступает в трансмиттеры по гибкому последовательному интерфейсу, поддерживающему стандартные форматы аудиоданных, что облегчает их подключение к последовательным портам ЦСП.

Потоковое аудио по интерфейсу USB

До сих пор мы говорили об интерфейсах, применяемых в бытовом и профессиональном аудиооборудовании. Однако пользователи персональных компьютеров (ПК) тоже хотят слушать музыку. Более того, хочется чтобы качество звучания не уступало, или по крайней мере приближалось к качеству звучания высококлассной аппаратуры. До недавнего времени система звуковоспроизведения ПК реализовывалась исключительно установкой звуковой карты, с выхода которой аналоговый сигнал поступал на аналоговые же усилители внешних громкоговорителей. Но теперь тенденция к переходу на полностью цифровую обработку звука затронула и мир компьютеров. Появились звуковые карты с выходом S/PDIF, поддержкой многоканальных систем 5.1. Выход S/PDIF имеет большинство современных приводов CD-ROM. Еще одно, возможно более дешевое, решение — это использование уже завоевавшего популярность универсального последовательного интерфейса периферийных устройств USB.

В первой части статьи мы уже говорили о ЦАП (PCM2702) и кодеках (PCM290x) с интерфейсом USB. Правда эти устройства скорее можно рассматривать как промежуточное решение, так как они предназначены в первую очередь для сопряжения с компьютером аналоговых устройств. Сегодня же мы поговорим о чисто интерфейсных микросхемах, открывающих широкие возможности для реализации цифрового звука на персональных компьютерах.

TUSB3200 и TAS1020 – потоковые контроллеры универсальной последовательной шины

TUSB3200 – это первое в промышленности интерфейсное устройство USB, поддерживающее до восьми каналов воспроизведения I²S, шесть каналов записи I²S или до двух каналов AC'97 2.x на одном кристалле. Устройство имеет прозрачный интерфейс с ЦСП семейства TMS320C54x, что позволяет разработчикам добавлять в систему такие устройства, как USB-микрофон с активным шумоподавлением или эхоподавлением, или USB-громкоговорители с декодированием сигналов AC3 или DTS. Имея встроенный адаптивный генератор синхронизации, TUSB3200 обеспечивает высококачественное подавление импульсных помех, которые часто ассоциируются с аудиоустройствами, подключаемыми по шине USB.

TUSB3200 имеет встроенный 8052-совместимый микроконтроллер с 8 Кбайтами оперативной памяти и 4-Кбайтным ПЗУ начальной загрузки. Микроконтроллер обрабатывает все USB транзакции. Четырехканальный контроллер прямого доступа к памяти обеспечивает потоковую передачу изохронных пакетов данных в обоих направлениях. Кроме того микроконтроллер содержит управляющий интерфейс I²C, два порта ввода-вывода общего назначения и выход широтно-импульсной модуляции. В то время, как ядро контроллера питается напряжением 3,3В, его линии ввода-вывода совместимы с 5-вольтовой логикой. TUSB3200 выполнен в корпусе TQFP-52.

Контроллер TAS1020 в целом мало чем отличается от TUSB3200. Он содержит меньший объем встроенной памяти (8 Кб ПЗУ и 6016 байт ОЗУ), не имеет генератора ШИМ, не совместим с 5-В периферией и выполнен в более компактном корпусе TQFP-48.

Вспомогательные аналоговые устройства

Полностью цифровая обработка — это замечательно. Однако существует еще целый ряд приложений, в которых просто невозможно обойтись без аналоговых устройств. Прежде всего это относится к профессиональному студийному и концертному оборудованию. Корпорация Texas Instruments и здесь не оплошала. Рассмотрим некоторые из аналоговых микросхем, которые не вошли в предыдущие части статьи.

Регуляторы громкости с цифровым управлением

В эту категорию попадают три устройства из производственной программы Burr-Brown, а именно двухканальные регуляторы громкости PGA2310, PGA2311 и четырехканальный PGA4311. Эти устройства предназначены для использования в профессиональном оборудовании, а также в потребительских системах класса High-End. Все они имеют диапазон регулировки коэффициента передачи от +31,5 дБ до -95,5 дБ с шагом 0,5 дБ, динамический диапазон 120 дБ, взаимопроникновение между каналами -130 дБ (-126 дБ для PGA2310). Типовое значение коэффициента нелинейных искажений на частоте 1 кГц равно 0,0004% (0,0002% для PGAx311A).

Аналоговая часть PGA2310 питается напряжением ± 15 В, что позволяет без дополнительных искажений работать с большими сигналами. Соответствующее напряжение для PGAx311 составляет ± 5 В. Цифровая часть всех устройств имеет напряжение питания 5 В.

Управление устройствами осуществляется по 3-х проводному последовательному интерфейсу, позволяющему организовать одновременное последовательное подключение нескольких регуляторов громкости к практически любому микроконтроллеру.

Микрофонные предусилители

В этой категории TI предлагает два устройства, INA103 и INA163. INA103 – довольно старая разработка Burr-Brown (1990 г.), а более новый INA163, при совершенно идентичной схемотехнике, имеет гораздо лучшие технические характеристики. Так что вряд ли стоит применять INA103 в новых разработках, поэтому рассматривать его мы не будем.

INA163 представляет собой инструментальный усилитель с весьма малыми уровнями шума и нелинейных искажений. Его схемное решение с токовой обратной связью обеспечивает очень широкую полосу пропускания (800 кГц при $K_v=100$) и превосходные динамические характеристики в широком диапазоне установок коэффициента усиления, что делает его идеальным выбором для усиления слабых аудиосигналов, например от низкоомных балансных микрофонов.

Приведем основные технические характеристики усилителя INA163:

- Уровень шума входного каскада на частоте 1 кГц 1 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$
- Уровень шума выходного каскада на частоте 1 кГц 60 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$
- Входное сопротивление 60 Мом
- Коэффициент нелинейных искажений ($K_v=100$) 0,002%
- Диапазон напряжений питания от $\pm 4,5$ до ± 18 В

Операционные усилители

Как ни крути, а без упоминания об операционных усилителях (ОУ) наш рассказ был бы неполным. Вряд ли стоит о них много писать. Любой разработчик электронного оборудования прекрасно знает что это такое и с чем их едят. Ограничимся лишь приведением сводной таблицы, отражающей некоторые характеристики ОУ, ориентированных на применение в звуковой аппаратуре, и на этом попрощаемся.

Устройство	Число ОУ	Напряжение питания, В	Полоса частот, МГц	e_n , нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ (1 кГц)	КНИ, %	Совместимость
ОРА134	1	$\pm 2,5 \div \pm 18$	8	8	0,00008	
ОРА2134	2	$\pm 2,5 \div \pm 18$	8	8	0,00008	
ОРА4134	4	$\pm 2,5 \div \pm 18$	8	8	0,00008	
ОРА227	1	$\pm 2,5 \div \pm 18$	8	3		OP-27, LT1007, MAX427
ОРА2227	2	$\pm 2,5 \div \pm 18$	8	3		
ОРА4227	4	$\pm 2,5 \div \pm 18$	8	3		
ОРА228	1	$\pm 2,5 \div \pm 18$	33	3		OP-37, LT1037, MAX437
ОРА2228	2	$\pm 2,5 \div \pm 18$	33	3		
ОРА4228	4	$\pm 2,5 \div \pm 18$	33	3		
ОРА627	1	$\pm 4,5 \div \pm 18$	16	5,2		
ОРА637	1	$\pm 4,5 \div \pm 18$	80	5,2		

Удачных вам проектов!