

# ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ МИКРОСХЕМЫ ДЛЯ АУДИОПРИЛОЖЕНИЙ

**ВИКТОР ОХРИМЕНКО**, начальник отдела, Государственный научно-исследовательский центр прикладной информатики

*В статье рассмотрены высококачественные микросхемы (приемопередатчики S/PDIF, SRC-преобразователи, цифровые сигнальные процессоры семейства SHARC, ЦАП и ОУ), ориентированные на применение в аудиоаппаратуре высокого класса различного назначения.*

## ВВЕДЕНИЕ

Предложенный в начале 80-х гг. прошлого столетия для передачи звука в цифровом формате интерфейс S/PDIF (Sony/Philips Digital Interface Format) первоначально предназначался для CD-плееров. Впоследствии этот интерфейс стали использовать и в других бытовых устройствах для передачи цифровых аудиоданных, например в MiniDisc- и аудио-DVD-плеерах, аппаратуре домашних кинотеатров, проигрывателях и аппаратуре Hi-Fi и Hi-End, во внешних аудиоЖАП, звуковых картах персональных компьютеров и т.п.

S/PDIF — это, по сути, одна из версий интерфейса AES/EBU (Audio Engineering Society/European Broadcast Union), ориентированного на использование в профессиональной аппаратуре для передачи аудиоданных в цифровом формате. S/PDIF — двухпроводной интерфейс для передачи цифровых аудиоданных по несимметричной линии. Основные параметры интерфейсов приведены в таблице 1 [1, 2]. В спецификации S/PDIF предусмотрена также возможность использования волоконно-оптического кабеля вместе с соответствующими разъемами TOSLINK (TOSHIBA-LINK) и встроенными в них приемопередатчиками. Преимущество оптического кабеля — высокая надежность и электромагнитная помехоустойчивость. И хотя в настоящее время в современных высококачественных аудиоустройствах, прежде всего в проигрывателях типа SACD и DVD, все чаще используются более универсальные высокоскоростные интерфейсы USB2.0 или FireWire (IEEE 1394), позволяющие передавать не только многоканальный цифровой звук, но и видеоданные в цифровом формате с высоким разрешением, интерфейс S/PDIF все еще широко используется в различных аудиоприложениях.

## ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКИ S/PDIF

В настоящее время несколько ведущих производителей, таких, как Cirrus

Logic (www.cirrus.com), Sanyo (LC8905V), STMicroelectronics (STA120), Texas Instruments, Wolfson (www.wolfson.com) и другие, выпускают микросхемы приемопередатчиков для интерфейса S/PDIF. Основные параметры микросхем, предназначенных для приема и декодирования сигнала, передаваемого через интерфейс S/PDIF, приведены в таблице 2. В аудио-CD-плеерах данные, как правило, передаются с частотой выборки 44,1 кГц, что соответствует скорости передачи данных через интерфейс 2,8224 Мбит/с. В проигрывателях DVD-аудио максимальная частота выборки при передаче данных составляет 192 кГц.

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ВЫБОРКИ (SRC)

Для того чтобы упростить аналоговую фильтрацию и улучшить параметры выходного звукового сигнала в цифровых аудиоустройствах, зачастую перед ЦАП включают микросхемы, искусственно увеличивающие частоту дискретизации  $F_s$ . Такой процесс называется «переискретизация» (upsampling), а устройства, обеспечивающие повышение или понижение частоты выборки, называются SRC-преобразователями (Sample Rate Conversion — преобразование частоты выборки). Такие преобразователи — неотъемлемый атрибут всех мультиформатных цифровых аудиоустройств

Таблица 1. Основные параметры интерфейсов AES3, AES3id, S/PDIF

Параметры	Тип интерфейса		
	AES3 (симметричный)	AES3id (ассимметричный)	S/PDIF (ассимметричный)
Тип разъема	XLR	BNC	RCA
Волновое сопротивление кабеля, Ом	110	75	75
Макс. напряжение сигнала (размах), В	7	1,2	0,6
Максимальный ток, мА	64	1,6	8
Минимальное входное напряжение, В	0,2	0,32	0,2
Тип кабеля	Экранированная витая пара	Коаксиальный	Коаксиальный
Максимальная длина линии, м	100	1000	10
Разрядность, бит	24	24	20...24

Таблица 2. Основные параметры микросхем приемопередатчиков S/PDIF

Параметры	CS8416 Cirrus Logic	DIR9001 Texas Instruments	WM8805 Wolfson
Частота дискретизации $F_s$ , кГц	32...192	28...108	32...192
Приемник/передатчик	+/-	+/-	+/-
Число входов/выходов	8/-	1/-	8/1
Выходной интерфейс		I <sup>2</sup> S	
Интерфейс управления	SPI/I <sup>2</sup> C	Аппаратный	SPI/I <sup>2</sup> C
Джиттер, пс	200	50	50
Напряжение питания, В	анalogовых схем	3,3	3,3
	ядра	3,3	—
	цифровых схем	3,3...5,0	3,3
Суммарный ток потребления, мА	40	20	20
Количество выводов и тип корпуса	28-TSSOP, 28-SOIC, 28-QFN	28-TSSOP	28-SSOP
Диапазон рабочих температур, °C	-40...85	-40...85/-10...70	-25...85

Таблица 3. Основные параметры микросхем SRC-преобразователей

Параметры	SRC1896 Analog Devices	SRC4193 Texas Instruments
Макс. соотношение частот дискретизации (вх/вых)	1/8; 7,75/1	1/16; 16/1
Динамический диапазон, дБ (44,1...192 кГц)	141,5	138
Суммарный коэффициент гармоник (THD+N), дБ (44,1...192 кГц)	123	137
Формат PCM	16/18/20/24 разряда, I <sup>2</sup> S, Right-Justified, Left-Justified	
Цифровой аттенюатор	—	+
Интерфейс управления	Аппаратный	SPI
Напряжение питания, В	3,3	3,3
Диапазон рабочих температур, °C	—40...105	—40...85
Количество выводов и тип корпуса	28-SSOP	

(компьютерных звуковых карт, DVD-проигрывателей, аппаратуры домашних кинотеатров и т.п.). Передискретизация не улучшает качество записи фонограммы, использование этого метода всего лишь упрощает фильтрацию аналогового сигнала (т.е. снижает требования к параметрам выходного ФНЧ). Более того, если фонограммы записаны с частотой дискретизации 96 кГц и выше, необходимость в использовании стандартных микросхем SRC-преобразователей практически отпадает. Для приема входного и передачи выходного цифрового сигнала в этих микросхемах используется стандартный интерфейс I<sup>2</sup>S. В микросхемах предусмотрен режим работы master и slave. Основные параметры микросхем SRC-преобразователей приведены в таблице 3 [3, 4]. Кроме приведенной в таблице 3 ИС SRC4193 компания Texas Instruments выпускает микросхему SRC4192, совместимую по расположению выводов с SRC1896

и обеспечивающую возможность только аппаратного управления режимами работы. Параметры SRC4192 аналогичны параметрам SRC4193.

### ЦИФРОВЫЕ СИГНАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССОРЫ

При разработке семейства SHARC-процессоров (ADSP-21362/3/4/5/6/7/8/9, ADSP-21371/5), ориентированных на использование в высококачественных аудиоприложениях, ставилась цель, используя высокопроизводительную и гибкую архитектуру базового 32-разрядного процессорного ядра с плавающей точкой (ADSP-2116x), создать сигнальные процессоры для эффективной многоканальной обработки аудиосигналов. Архитектура сигнальных процессоров ADSP-21366/367/368 приведена на рисунке 1 [5].

Особенностью этих процессоров является встроенный цифровой аудиоинтерфейс (Digital Audio Interface —

DAI). Цифровой аудиоинтерфейс обеспечивает высокоскоростной обмен данными с различными стандартными внешними устройствами ввода/вывода аудиоданных через интерфейсы S/PDIF и I<sup>2</sup>S (SPORT), широко используемые для передачи звука в цифровом формате в профессиональной и бытовой звуковоспроизведющей аппаратуре. Кроме того, в DAI имеются четыре блока SRC-преобразователей и до четырех тактовых генераторов повышенной точности PCG (Precision Clock Generator). Встроенные SRC-преобразователи созданы на базе того же ядра, которое используется в микросхемах асинхронных SRC-преобразователей AD1896 компании Analog Devices. SRC-преобразователи можно применять для синхронного/асинхронного преобразования частоты дискретизации одновременно по двум каналам (обработка стереофонического звука), не используя при этом ресурсы процессорного ядра. Все блоки SRC можно конфигурировать для совместной одновременной работы, что позволяет использовать их для многоканальной обработки звуковых сигналов, при этом обеспечивается минимальное согласование фаз между каналами. Кроме того, SRC-преобразователи могут использоваться для уменьшения джиттера цифрового сигнала, возникающего, как правило, при передаче сигнала через канал S/PDIF.

Встроенные в цифровой периферийный интерфейс DPI (Digital Peripheral Interface) контроллеры SPI, UART и TWI

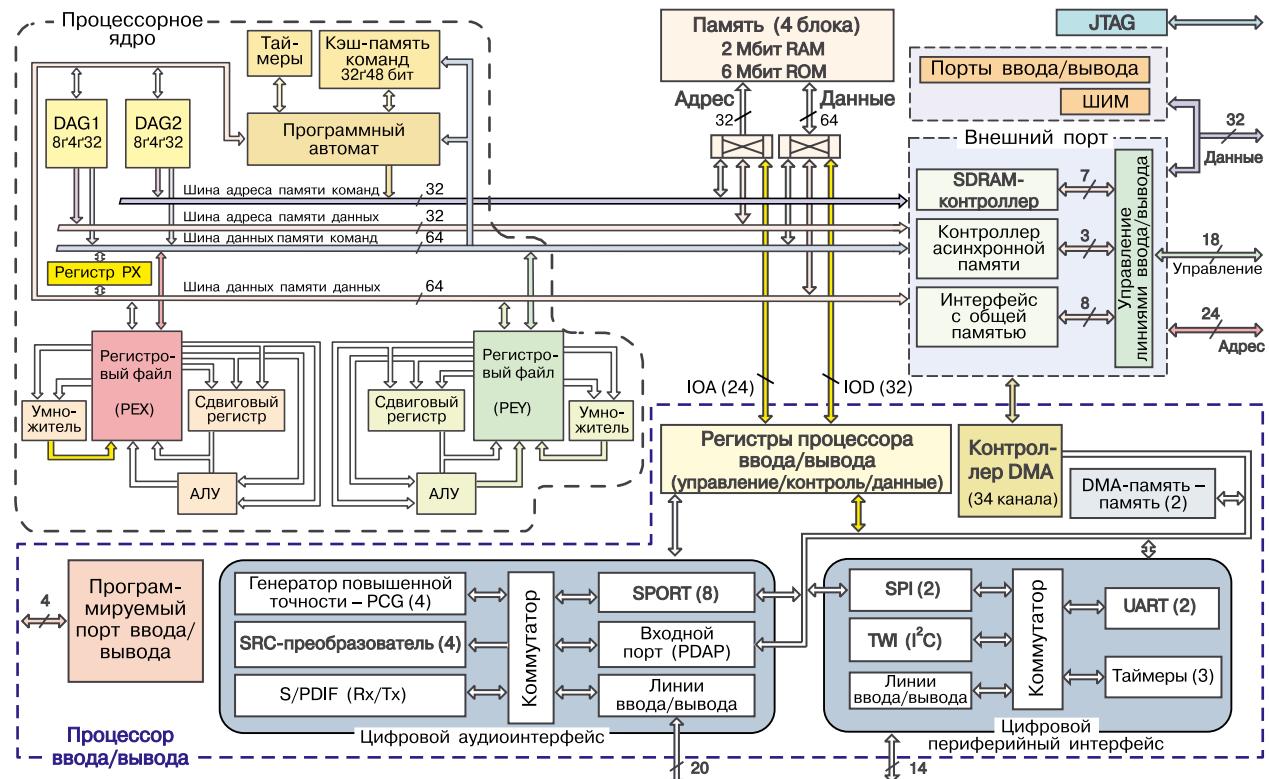


Рис. 1. Архитектура сигнальных процессоров ADSP-21366/367/368

(совместимый с I<sup>2</sup>C) поддерживают обмен данными со стандартными внешними устройствами и микросхемами преобразователей (АЦП/ЦАП) и используются, как правило, для обмена командами управления.

Термин «супергарвардская архитектура» (SHARC-архитектура) начал применяться после выпуска фирмой Analog Devices сигнальных процессоров с плавающей точкой семейства ADSP-2106x. В отличие от классической гарвардской архитектуры, которая базируется на двух независимых блоках памяти программ и данных, а также двух независимых шинах для обмена с памятью программ и данных соответственно, в архитектуру сигнальных процессоров семейства SHARC добавлены кэш-память программ и специализированный контроллер ввода/вывода. Из-за специфических особенностей алгоритмов цифровой обработки сигналов часть команд при выполнении алгоритмов используется многократно, поэтому, если разместить эти команды в кэш-памяти, можно увеличить эффективность обмена по шине программ, используя ее в отдельные интервалы времени для выборки данных (коэффициентов). Все сигнальные процессоры семейства SHARC имеют встроенную ассоциативную кэш-память программ объемом тридцать два 48-разрядных слова. С помощью соответствующего контроллера DMA осуществляются пересылки данных в режиме прямого доступа между встроенной памятью и периферийными устройствами, что также повышает производительность процессорного ядра. Максимальная тактовая частота процессорного ядра составляет 333 (ADSP-21365/366) или 400 МГц (ADSP-21367/368).

Процессорное ядро содержит два полноценных вычислительных устройства PEX и PEY (PE — Processing Element) и относится к вычислительным систе-

мам типа SIMD (Single Instruction Multiple Data — один поток команд, много потоков данных). Параллельное выполнение одних и тех же инструкций, оперирующих с разными данными, особенно полезно при обработке стереосигнала. Для формирования адресов операндов процессорное ядро содержит два адресных генератора DAG1 и DAG2. При выполнении SIMD-инструкций и тактовой частоте 400 МГц максимальная производительность достигает 2,4 GFLOPS. Каждое из вычислительных устройств имеет 10-портовый регистровый файл, содержащий тридцать два 32-разрядных регистра. С помощью регистровых файлов поддерживается обмен данными между вычислительными устройствами ядра и встроенной памятью. В SHARC-процессорах благодаря использованию супергарвардской архитектуры появилась возможность в течение одного цикла выполнять выборку инструкции из кэш-памяти программ и четырех операндов из встроенных блоков памяти. Во всех рассматриваемых SHARC-процессорах используется одно и то же базовое процессорное ядро. Для сравнения производительности сигнальных процессоров SHARC в таблице 4 приведено время выполнения некоторых базовых алгоритмов и математических операций, в таблице 5 даны основные параметры сигнальных процессоров [5].

SHARC-процессоры содержат большой объем встроенной памяти типа ROM и SRAM. К примеру, сигнальные процессоры ADSP-21367/8/9 содержат SRAM-память объемом 2 Мбит и масочную ROM объемом 6 Мбит. При тактовой частоте 400 МГц максимальная скорость обмена данными между процессорным ядром и встроенной памятью составляет 6,4 Гбит/с. В рассматриваемых процессорах предусмотрена защита масочной ROM от неавторизованного копирования. В режиме защиты не поддерживается возможность начальной загрузки программного кода из внешней памяти. Выполнение программы в этом случае всегда начинается по адресу, относящемуся к пространству встроенной SRAM-или ROM-памяти. В SHARC-процессорах предусмотрен режим загрузки программного кода из внешней памяти. С помощью программы начальной загрузки осуществляется пересылка программного кода во встроенную память типа SRAM из внешней EPROM- или флэш-памяти либо через порт SPI в режиме master или slave. Следует отметить, что рассматриваемые процессоры могут поставляться с уже запрограммированной масочной памятью, содержащей код для реализации кодеков: PCM, Dolby Digital, Dolby Digital EX, DTS-ES Discrete 6.1, DTS-ES Matrix 6.1, DTS 96/24 5.1, MPEG2 AAC LC и других ([www.analog.com](http://www.analog.com)). Для обмена данными с

Таблица 4. Длительность выполнения некоторых базовых алгоритмов и математических операций

Параметры	Сигнальные процессоры ADSP-xxx			
	367/368/369	365/366	371	375
Тактовая частота, МГц	400	333	266	266
БПФ с основанием 4 (комплексные числа, 1024 точки, с перестановкой битов), мкс	23,2	29,7	34,5	34,5
Секция КИХ-фильтра, нс	1,25	1,5	1,88	1,88
Секция БИХ-фильтра, нс	5,0	6,0	7,5	7,5
Умножение матриц, нс	[3×3] [3×1] [4×4] [4×1]	13,5 23,9	13,5 23,9	16,91 30,07
Деление (Y/X), нс	—	8,75	10,5	13,1
Вычисление 1/√x, нс	—	13,5	16,3	20,4
				16,91

Таблица 5. Параметры сигнальных процессоров SHARC

Параметры	Сигнальные процессоры ADSP-						
	21364	21365	21366	21367	21368	21371	21375
Тактовая частота, МГц	333	333	266/333/400	333/400	333/400	266	266
Встроенная память, Мбит	ROM 4	3	3	2	2	1	0,5
Выполнение кода из внешней памяти	—	—	—	—	—	+	+
Интерфейсы	S/PDIF SPORT (I <sup>2</sup> S) UART SPI TWI (I <sup>2</sup> C)	1 6 1 2 —	1 6 1 1 —	1 8 2 2 1	1 8 2 2 1	1 8 1 2 1	— 4 1 2 1
Отношение сигнал/шум (SRC), дБ	140	128	128	128	140	—	—
Число ШИМ-генераторов	1	1	1	1	1	1	1
Число таймеров	3	3	3	3	3	2	2
Число тактовых генераторов PCG	2	2	2	4	4	4	4
Диапазон рабочих температур, °C	—	—	—40...85	—	—	0...70	—
Кол-во выводов и тип корпуса	136-BGA, 144-LQFP	—	256-BGA, 208-MQFP	—	—	208-MQFP	—

Таблица 6. Параметры микросхем ЦАП

Параметры	DSD1794A Texas Instruments	AD1955 Analog Devices	WM8741 Wolfson	CS4398 Cirrus Logic
Тип ЦАП/разрешение, бит	Дельта-сигма/24			
Макс. частота выборки $F_s$ , кГц	192			
Формат PCM /формат DSD	$\text{I}^2\text{S}$ , Right-Justified, Left-Justified/+			
Суммарный коэффициент гармоник (THD+N), дБ	$F_s = 44,1$ кГц	108	110	107
	$F_s = 96$ кГц	102		
	$F_s = 192$ кГц	96		
Отношение сигнал/шум, дБ	$F_s = 44,1$ кГц	127	120	125
	$F_s = 96$ кГц			123
	$F_s = 192$ кГц			120
Дифференциальный выходной ток, мА	7,8	8,64	—	—
Дифф. выходное напряжение, В	—	—	2	—
Интерфейс управления	$\text{I}^2\text{C}$	SPI	$\text{I}^2\text{C}/\text{SPI}$	
Напряжение питания, В	аналог. схем	5,0	5,0	5,0
	цифр. схем	3,3	5,0	3,3...5,0
Кол-во выводов и тип корпуса		28-SSOP	28-TSSOP	

внешней памятью имеется 32-разрядная внешняя шина данных и 24-разрядная адресная шина. SHARC-процессоры поддерживают обмен данными с внешней синхронной и/или асинхронной памятью, а также модулями памяти типа DIMM. Частота тактирования SDRAM-памяти составляет 166 МГц, обмен данными со SRAM-памятью выполняется с частотой 55 МГц. Следует отметить, что только в процессорах ADSP-21371/5 реализована возможность выполнения программного кода непосредственно из внешней памяти.

Напряжение питания процессорного ядра и системы ФАПЧ при тактовой частоте 400 МГц составляет 1,3 или 1,2 В при тактовой частоте 333/266 МГц. Напряжение питания буферных схем ввода/вывода — 3,3 В. Стоимость процессоров ADSP-21371 в партии 1000 шт.

составляет 13,11...15,73, а ADSP-21368 — 30,67...44,90 долл. США.

### ЦАП

В высококачественных системах звукоизготовления широко используются 24-разрядные дельта-сигма-ЦАП (AD1955, DSD1794A, WM8740/1, CS4398). Эти дельта-сигма-ЦАП, как правило, содержат два входных порта PCM (Pulse Code Modulation) и DSD (Direct Stream Digital), интерполирующий фильтр и многоразрядный цифровой дельта-сигма-модулятор, который включается между интерполирующим фильтром и собственно ЦАП. Микросхемы AD1955 и DSD1794A содержат преобразователи кода в ток, и выходным сигналом в этих ЦАП является ток, поэтому преобразователи тока в напряжение реализуются с использованием внешних ОУ.

Микросхемы CS4398 и WM8740/1 снабжены встроенными преобразователями ток-напряжение и выходным сигналом является напряжение. Для управления работой ЦАП предусмотрены порты SPI или  $\text{I}^2\text{C}$ . Имеется возможность отключить встроенный цифровой фильтр, а вместо него использовать внешний. Все ЦАП поддерживают как стерео-, так и монофонический режим. Один из входных портов предназначен для ввода данных в формате PCM (через последовательный стереоаудиоинтерфейс  $\text{I}^2\text{S}$ ), другой — в формате DSD. Формат PCM, как правило, используется в широко распространенных CD-проигрывателях, при этом частота выборки  $F_s$  составляет 44,1 кГц, а также в аудио-DVD-плеерах (частота выборки 48/96/192 кГц). Формат DSD применяется в SACD-плеерах, в которых используется технология одно-

Таблица 7. Параметры ОУ

Параметры	AD797	LME49710	OPA211	OPA134	LT1028	OP275
Спектральная плотность шума, нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$	10 Гц	1,7	6,4	2,0	—	1,0
	100 Гц	—	—	1,4	—	7,0 (30 Гц)
	1 кГц	0,9	2,5	1,1	8,0	0,85
Напряжение шумов от пика до пика в полосе частот 0,1...10 Гц, нВ	50	—	80	—	35	—
Суммарный коэффициент гармоник (THD+N), %	0,0001 ( $F = 20$ кГц, $U_{\text{вых}} = 3$ В, $R_H = 1$ кОм)	0,00003 ( $F = 1$ кГц, $U_{\text{вых}} = 3$ В, $R_H = 2$ кОм/600 Ом)	0,000015 ( $F = 1$ кГц, $U_{\text{вых}} = 3$ В, $R_H = 600$ Ом)	0,00008 ( $F = 1$ кГц, $U_{\text{вых}} = 3$ В, $R_H = 2$ кОм)	0,001 ( $F = 1$ кГц, $U_{\text{вых}} = 7$ В, $R_H = 2$ кОм)	0,006 ( $F = 1$ кГц, $U_{\text{вых}} = 3$ В, $R_H = 2$ кОм)
Интермодуляционные искажения, %	—	0,00005 ( $U_{\text{вых}} = 3$ В, два сигнала частотой 60 Гц и 7 кГц, соотн. уровней 4:1)	—	0,00045 ( $K = 1, F = 1$ кГц, $U_{\text{вых}} = 1$ В)	—	—
Коэф. ослабления синфазного сигнала, дБ	130	120	120	100	126	106
Коэф. ослабления нестабильности источника питания, дБ	130	125	—	106	133	111
Входное напряжение смещения нуля, мкВ	25	50	30	500	10	1000
Входной ток смещения нуля, нА	100	5	25	0,002	12	2
Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	20	20	27	20	15	22
Полоса пропускания (коэф. усиления), МГц	8 (10)	55	45 (1), 80 (100)	8	75	9
Выходной ток, мА	50	26	30	35	—	—
Напряжение питания, В	$\pm(5,0 \dots 15,0)$	$\pm(2,5 \dots 17,0)$	$\pm(2,25 \dots 18,00)$	$\pm(2,5 \dots 18,0)$	$\pm(5,0 \dots 15,0)$	$\pm(4,5 \dots 22,0)$
Кол-во выводов и тип корпуса	8-DIP, 8-SOIC	8-DIP, 8-SOIC	8-SOIC, 8-MSOP, 8-DFN	8-DIP, 8-SOIC	8-DIP, 8-SOIC, 16-SOIC	8-DIP, 8-SOIC

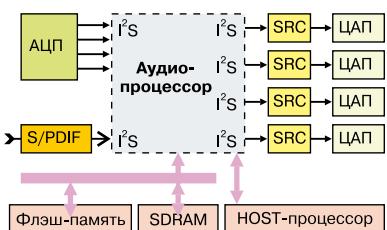


Рис. 2. Пример схемы аудиоустройства

разрядного преобразования на основе дельта-сигма-модулятора, тактируемого сигналом частотой 2,8224 МГц. Основные параметры микросхем ЦАП даны в таблице 6 [6, 7].

#### ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Основные параметры ОУ приведены в таблице 7. Эти ОУ отличаются низким уровнем шумов и малыми гармоническими искажениями. Спектральная плотность входного шумового напряжения ОУ LT1028 (Linear Technology) в звуковом диапазоне частот составляет  $0,85 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ . Суммарный коэффициент гармоник (THD+N) ОУ LME49710 (National Semiconductor) на частоте 1 кГц при выходном напряжении 3 В и сопротивлении нагрузки 2 кОм составляет 0,00003%. Операционный усилитель OPA211 (Texas Instruments) имеет еще более низкие гармонические искажения: всего 0,000015% ( $F = 1 \text{ кГц}$ ,  $U_{\text{ых}} = 3 \text{ В}$ ,  $R_h = 600 \text{ Ом}$ ). Кроме того, все ОУ имеют достаточно широкую полосу пропускания и высокую скорость нарастания выходного напряжения, что позволяет их использовать в высококачественной аудиоаппаратуре разного назначения.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение специализированных программируемых процессоров для обработки многоканального цифрового звука позволяет расширить функциональные возможности звукоспроизводящих устройств, повысить точность обработки сигналов, сократить число используемых компонентов, уменьшить габаритные размеры и, в итоге, снизить их стоимость. На рисунке 2 приведен пример структурной схемы устройства обработки звуковых сигналов, созданного с использованием рассмотренных выше специализированных микросхем. Применение сигнальных процессоров семейства SHARC позволяет отказаться от использования ряда компонентов (см. рис. 3). В случае использования процессоров с плавающей точкой появляется возможность реализовать на их базе цифровые интерполирующие фильтры с высокими параметрами, а также аудио- и видеокодеки. С учетом того, что в микросхемах ЦАП (AD1955, DSD1794A и др.) предусмотрено отключение встроенно-

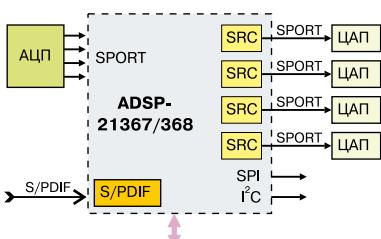


Рис. 3. Схема аудиоустройства на базе SHARC-процессора

го входного интерполирующего цифрового фильтра, расположенного перед цифровым дельта-сигма-модулятором, появляется возможность реализации на базе процессора более высококачественного интерполирующего фильтра с повышением частоты выборки входного сигнала с 44,1/48/96/192 кГц до 384/768 кГц.

Компания Anagram Technologies ([www.anagramtech.com](http://www.anagramtech.com)) на базе сигнального процессора ADSP-BF532 разработала модуль Sonic 2, в котором осуществляется передискретизация входного сигнала, представленного в формате PCM (44,1/48/96/192 кГц) или DSD (2,8224 МГц), в PCM-формат с параметрами: частота выборки 384 кГц, число разрядов 24, количество каналов 2, выходной интерфейс I<sup>2</sup>S. Габаритные размеры модуля 83 × 63 × 15 мм. Напряжение питания 3,3 В. Управление модулем осуществляется через интерфейс SPI.

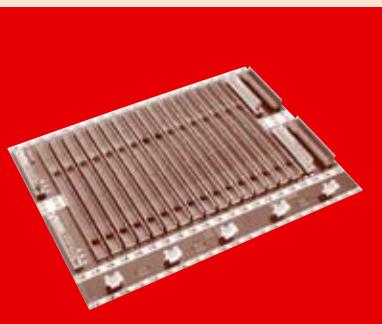
Рассмотренные в статье микросхемы характеризуются высокими параметрами и ориентированы на использование в высококачественной аудиоаппаратуре разного назначения. Во многих Hi-End-проигрывателях и звукоспроизводящих устройствах, выпускаемых известной во всем мире японской компанией Accuphase ([www.accuphase.com](http://www.accuphase.com)), применяются микросхемы ЦАП AD1955 (Analog Devices). Эти модели отличаются не только очень высоким качеством, но и ценой (10—20 тыс. долл.). К примеру, в одной из последних моделей внешнего ЦАП с аудиопроцессором (DC-801), который используется совместно с SACD-транспортом DP-800, в каждом из звуковых каналов параллельно включены восемь микросхем AD1955, что позволяет, благодаря использованию технологии MDS++D/A (MDS — Multiple Delta Sigma), улучшить отношение сигнал/шум и снизить уровень гармонических искажений. Модель DC-801 имеет следующие параметры: отношение сигнал/шум 117 дБ, суммарный уровень гармонических искажений в полосе частот 20...20000 Гц составляет 0,0006%. Известный во всем мире производитель аудиоаппаратуры класса Hi-End компания Teac, выпускающая под торговой маркой Esoteric ([www.teac.com/esoteric/index](http://www.teac.com/esoteric/index)) SACD-, DVD- и CD-проигрыватели, в своих

# System Platform



Expect a lot, but no high costs:

- High quality material and up to date technology
- Attractive subrack design in aluminum, stainless steel and tin plated
- Effective ventilation concept
- Backplane and power supply incl.
- Huge option on backplanes
- Special customer solutions, implemented fast and exactly
- Short time lead



Посетите нас на выставке  
«EXPOELECTRONICA 2008»  
15–18 апреля 2008 года  
стенд J13, зал 14, павильон 3

Intelligent solutions  
make the difference

[info@hartmann-elektronik.de](mailto:info@hartmann-elektronik.de)  
[www.hartmann-elektronik.com](http://www.hartmann-elektronik.com)

  
**HARTMANN ELEKTRONIK**

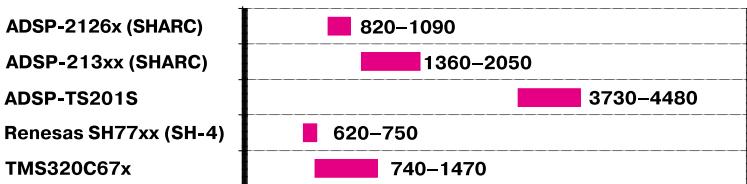


Рис. 4. Показатели производительности сигнальных процессоров



Рис. 5. Показатели эффективности использования памяти

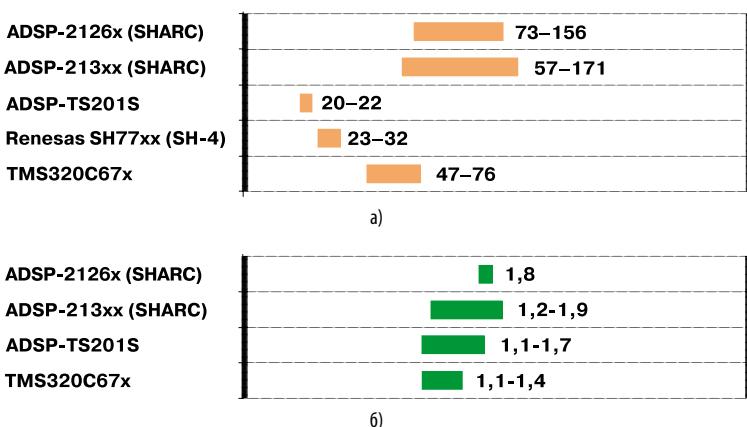


Рис. 6. Показатели эффективности: а) соотношение производительность/единица стоимости (долл. США), б) соотношение производительность/единица потребляемой мощности (мВт)

моделях также применяет микросхемы AD1955. Так, в модели D-03 (внешний ЦАП) используются по четыре микросхемы AD1955 в каждом из каналов.

В заключение, для сравнительной оценки реальной производительности процессоров при выполнении алгоритмов, которые широко используются

в цифровой обработке аудиоданных, приведены количественные показатели производительности процессоров. Для оценки реальной производительности процессоров разных типов при выполнении алгоритмов цифровой обработки сигналов (адаптивного КИХ-фильтра, двойного биквадратного БИХ-фильтра

и других типов фильтров, декодера Витерби, БПФ и т.п.) принято использовать обобщенные количественные показатели производительности, получаемые в результате тестирования процессоров с использованием набора тестовых программ BDTI Benchmark. Эти тесты были предложены основанной в 1991 г. независимой ассоциацией BDTI (Berkeley Design Technology, Inc.). На рисунке 4 приведены показатели производительности, а на рисунке 5 — эффективность использования памяти в процессорах разных типов ([www.bdti.com](http://www.bdti.com)). Результаты получены при тестировании микросхем с использованием контрольных алгоритмов BDTImark2000. В случае применения процессоров во встраиваемых приложениях первостепенными являются производные показатели эффективности: соотношение производительность/единица стоимости (рис. 6а), производительность/единица потребляемой мощности (рис. 6б).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Specification of the Digital Audio Interface (The AES/EBU interface). Tech. 3250-E-Third edition. European Broadcasting Union, 2004.
2. Engineering Guidelines. The EBU/AES digital audio interface. European Broadcasting Union, 1995.
3. SRC4192, SRC4193. 192 kHz Stereo Asynchronous Sample Rate Converters. — Texas Instruments, 2003 ([www.ti.com](http://www.ti.com)).
4. AD1896. 192 kHz Stereo Asynchronous Sample Rate Converter. Analog Devices, 2003 ([www.analog.com](http://www.analog.com)).
5. ADSP-21367/ADSP-21368/ADSP-21369. SHARC® Processors. Analog Devices, 2007 ([www.analog.com](http://www.analog.com)).
6. High Performance Multi-bit DAC with SACD Playback AD1955. Analog Devices, 2002 ([www.analog.com](http://www.analog.com)).
7. 24-bit, 192 kHz sampling, Advanced Segment Audio Stereo Digital-to-Analog Converter DSD1794A. Texas Instruments, 2006 ([www.ti.com](http://www.ti.com)).

## НОВОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ

| HITACHI И OPNEXT ПОКАЗАЛИ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ 100-Гбит/с СЕТЕЙ | Конференция OFC/NFOEC-2008 стала местом показа интересных достижений в области высокоскоростных систем передачи данных.

Так, компании Hitachi и Optronics продемонстрировали первые в мире 1310-нм, 25-Гбит/с лазеры, работающие в широком диапазоне температур и предназначенные для сетей Ethernet с пропускной способностью 100 Гбит/с. Как утверждается, новинки позволят обеспечить по одномодовому оптоволокну (SMF) связь на расстоянии до 10 км.

Исследование, проведенное группой IEEE HSSG (High Speed Study Group), показало, что к 2010 г. для удовлетворения требований по пропускной способности оптимальным выходом станет освоение 100-Гбит/с интерфейсов. Прогнозируемое удвоение требований в течение каждого полугода лет повлечет за собой высокий спрос на многопортовые 100-Гбит/с системы. В рамках IEEE 802.3ba обсуждается соответствующая спецификация 100 Gigabit Ethernet, определяющая обмен по SMF длиной до 10 км. Наиболее привлекательным техническим решением, способным удовлетворить требованиям спецификации, специалисты считают применение четырех 1310-нм каналов по 25 Гбит/с со спектральным уплотнением (WDM). Камнем преткновения остается изготовление лазеров, способных работать на указанной длине волн.

Именно такие лазеры создали компании Hitachi и Optronics. Всего было представлено четыре модели, с длиной волны излучения 1290, 1310, 1330 и 1350 нм. Лазеры рассчитаны на эксплуатацию в диапазоне температур от 0 до 85°C.

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