

# Современные звуковые ЦАП компании Texas Instruments

Юрий Петропавловский (Ростовская обл.)

Статья содержит краткий обзор ЦАП для ответственных звуковых приложений. Приведены классификационные параметры и особенности применения современных ЦАП фирмы Texas Instruments.

Цифроаналоговый преобразователь является одним из ключевых элементов современной звуковоспроизводящей аппаратуры, во многом определяющим качество её звучания. Перед разработчиками электронной аппаратуры для звуковых приложений неизбежно встаёт вопрос выбора подходящих микросхем ЦАП. Решение этого вопроса, прежде всего, зависит от назначения разрабатываемой техники. Для подавляющего большинства приложений проблемы с выбором ЦАП практически отсутствуют. Выбор микросхем ЦАП для профессиональной аппаратуры осложняется наличием «субъективной» составляющей оценок качества звучания, даваемых музыкантами, звукорежиссёрами и подготовленными слушателями.

Существуют два основных типа преобразователей, используемых в звуковых приложениях, – параллельные (многоуровневые) и на основе дельта-сигма (ДС) модуляции. Основные недостатки многоуровневых ЦАП с параллельной структурой – негарантированная монотонность характеристики преобразования, высокая стоимость (из-за необходимости лазерной подгонки в процессе производства) и постоянно уменьшающаяся номенклатура выпускаемых микросхем. Фактически в настоящее время доступны только несколько типов таких микросхем Analog Devices и TI/ Burr-Brown. Достоинства ДС ЦАП – гарантированная монотонность, более доступная цена и широкая номенклатура выпускаемых микросхем.

Микросхемы одноразрядных ДС ЦАП, предназначенных для звуковых приложений, появились в 1990-х годах. Однако в результате экспертных прослушиваний аппаратуры с такими преобразователями выяснилось, что обеспечиваемое ими качество звучания не отвечает профессиональным требованиям из-за большого уровня внеполос-

ных помех, генерируемых ДС-модуляторами. Указанные помехи, введённые в стандартный звуковой тракт, порождали слышимые интермодуляционные искажения в области звуковых частот. Однако ДС ЦАП и схемы их включения постоянно совершенствовались, и к 2004 г. этот недостаток был устранён [1].

Важнейшими характеристиками ЦАП, определяющими качество звучания, являются частота дискретизации и разрядность. Вопросы, связанные с необходимостью повышения частоты дискретизации и разрядности квантования для повышения качества звучания цифровой аппаратуры, обсуждаются на протяжении многих лет. Серьёзный анализ влияния указанных параметров на достоверность и точность звукопередачи в цифровых системах был приведён в докладе профессора Университета McGill (Канада) Веслава Войчика на 115-м конгрессе AES в Нью-Йорке (Университет McGill является крупнейшим мировым центром исследований в области психоакустики). Основные положения, приведённые в докладе, были обобщены в статье профессора С-ПбГУП Ирины Алдошиной [2]. Ниже приведены те из них, которые в той или иной степени связаны с характеристиками ЦАП.

Способность слуховой системы услышать каждый инструмент на его реальном месте и оценить влияние помещения зависит, прежде всего, от уникальных возможностей слухового аппарата. Однако при передаче всей пространственной картины её восприятие зависит и от разрешающей способности записывающих, передающих и воспроизводящих систем. Многие специалисты полагают, что дальнейший прогресс в улучшении «прозрачности» и создании «ощущения присутствия» в системах звукозаписи может быть достигнут за счёт увеличения частоты дискретизации и расширения диапазона частот за пределы 20 кГц. Высокая разрешающая способ-

ность во временной области является наиболее важной для обеспечения прозрачности звучания. В современных цифровых устройствах используются следующие значения частот дискретизации: 44,1; 48; 96; 192 и 384 кГц, при этом интервалы между выборками составляют 22,7; 20,8; 10,4; 5,2 и 2,6 мкс (использование более низких частот дискретизации для систем высокого разрешения не допускается).

Акустические музыкальные сигналы обладают нестационарной временной и динамической структурой и достаточно быстрым нарастанием уровней – до 120...130 дБ за 7...10 мкс. Это означает, что интервал выборки 22,7 мкс, используемый форматом CD Audio, слишком велик. Кроме того, в спектре ряда музыкальных инструментов присутствуют ультразвуковые составляющие (в спектре трубы до 40 кГц, скрипки – до 100 кГц). Запись реального реверберационного процесса без потери информации также представляет большие трудности. Так, в помещении площадью 1000 м<sup>2</sup> интенсивность отражений через 1 с после начала реверберации составляет более 500 в секунду. Это означает, что отражённые звуковые сигналы будут прибывать с интервалом менее 2 мкс и вызывать соответствующие флюктуации результирующего сигнала. При интервале выборок 22,7 мкс зарегистрировать их невозможно.

Эксперименты показали, что в отражённых сигналах происходят быстрые амплитудные и фазовые сдвиги и быстрые нерегулярные изменения частоты. Модуляционные искажения имеют место во всех звеньях звукозаписи, их наличие может восприниматься на слух как появление некоторой шумовой окраски чистого тона. Такая окраска появляется при записи на аналоговые магнитофоны из-за детонации и продольных колебаний ленты (флаттера), что приводит к появлению боковых полос в высокочастотной части спектра. Звуковой сигнал обогащается некогерентным шумом, который создаёт так называемое «аналоговое звучание». Флаттер-шум приводит к временным ошибкам порядка 10 мкс, поэтому при переносе на компакт-диск эти флюктуации теряются.

Таким образом, повышение разрешающей способности цифровых систем реально приводит к повышению качества звуковоспроизведения, а выбор микросхем ЦАП следует проводить по параметрам различных категорий – временной, динамической, частотной и спектральной. К таким па-

раметрам относятся: число разрядов, частота дискретизации, динамический диапазон, отношение сигнал/шум и спектр гармонических искажений при низких уровнях выходного сигнала.

В последние годы микросхемы звуковых ЦАП с параллельной структурой производят немногие фирмы, в их чис-

ле AD и TI. Предметом настоящей статьи являются микросхемы звуковых ЦАП компании Texas Instruments. Классификационные параметры ИС ЦАП для звуковых приложений компании из каталога 2012 г. приведены в таблице.

Особенности и параметры много-разрядных звуковых ЦАП Burr-Brown

#### Основные параметры микросхем звуковых ЦАП компании Texas Instruments

Тип ИС	Архитектура	Число каналов	Входные форматы	Интерфейс управления	Частота выборки, кГц	Число входных дв. разрядов	Общие гармонические искажения + шум (% дБ)	Отношение сигнал/шум, дБ	Динамический диапазон, дБ	Примечания/ корпус
DSD1608	ДС	8	ИКМ: стандарт, L-J, I2S; DSD	Посл. 4 линии	ИКМ: 200, DSD: 2822,4	24	0,0012	108	108	TQFP-52
DSD1702	ДС	2	Ст. L-J, I2S, DSD	Посл. 3 линии	200/2822,4	24	0,0015	106	106	QSOP-20
DSD1791	Сегм. ДС	2	Ст. L-J, I2S, DSD	Посл. 4 линии	200/2822,4	24	0,001	113	113	SSOP-28
DSD1792A	Сегм. ДС	2	Ст. L-J, I2S, DSD	Посл. 4 линии	200/2822,4	24	0,0004	127	127	SSOP-28
DSD1793	Сегм. ДС	2	Ст. L-J, I2S, DSD	I <sup>2</sup> C	200/2822,4	24	0,001	113	113	SSOP-28
DSD1794A	Сегм. ДС	2	Ст. L-J, I2S, DSD	I <sup>2</sup> C	200/2822,4	24	0,0004	129	129	SSOP-28
DSD1796	Сегм. ДС	2	Ст. L-J, I2S, DSD	Посл. 4 линии	200/2822,4	24	0,0005	123	123	SSOP-28
PCM1602A	Многоуровн. ДС	6	Ст. L-J, I2S	Посл. 4 линии	200	24	0,002	105	105	LQFP-48
PCM1606	Многоуровн. ДС	6	Ст. L-J, I2S, TDM	Спец. интерфейс	200	24	0,004	103	103	SSOP-20
PCM1609A	Многоуровн. ДС	8	Ст. L-J, I2S	Посл. 4 линии	200	24	0,002	105	105	LQFP-48
PCM1680	Многоуровн. ДС	8	R-J, L-J, I2S	SPI, I <sup>2</sup> C	200	24	0,002	105	105	SSOP-28
PCM1681/Q1	Многоуровн. ДС	8	R-J, L-J, I2S, TDM	SPI, I <sup>2</sup> C	200	24	0,002	105	105	TSSOP-28
PCM1702	Параллельная	1	Посл. BTC	Нет	352,8 (44,1×8)	20	-96 дБ	120	110	PDIP-16, SO-20
PCM1704	Параллельная	1	Посл. BTC	Нет	768 (96×8)	24	0,0008	120	112	SO-20
PCM1723	ДС	2	Ст., I2S	Посл. 3 линии	96	24	-89 дБ	96	94	SSOP-24
PCM1727	ДС	2	Ст., I2S	Посл. 3 линии	96	24	-89 дБ	94	92	SSOP-24
PCM1740	ДС	2	Ст., I2S	I <sup>2</sup> C	96	24	-89 дБ	94	94	SSOP-24
PCM1741	ДС	2	Ст., L-J, I2S	Посл. 3 линии	100	24	0,005	98	98	SSOP-16
PCM1742	Многоуровн. ДС	2	Ст., L-J, I2S	Посл. 3 линии	200	24	0,002	106	106	SSOP-16
PCM1744	ДС	2	I2S	Спец. интерфейс	96	24	-83 дБ	97	95	SOIC-14
PCM1748	Многоуровн. ДС	2	Ст., L-J, I2S	Посл. 3 линии	100	24	0,002	106	106	SSOP-16
PCM1753/54/55	Многоуровн. ДС	2	R-J, L-J, I2S, ст.	Посл. 3 линии	200	24	0,002	106	106	SSOP-16
PCM1770/71	ДС	2	L-J, I2S	Посл. 3 линии	50	24	0,1	98	98	УЗЧ для телефонов TSOP-16, VQFN-20
PCM1772/73	ДС	2	L-J, I2S	Посл. 3 линии	50	24	0,007	98	98	УЗЧ, TSOP16, VQFN-20
PCM1774	ДС	2	L-J, I2S	SPI, I <sup>2</sup> C	50	16	0,008	93	93	УЗЧ, VQFN-20
PCM1780/81/82	Многоуровн. ДС	2	R-J, L-J, I2S	Посл. 3 линии	200	24	0,002	106	106	SSOP-16
PCM1789/Q1	Многоуровн. ДС	2	R-J, L-J, I2S	SPI, I <sup>2</sup> C	192	24	-94 дБ	113	113	TSSOP-24
PCM1791A	Сегм. ДС	2	Ст. L-J, I2S, DSD	SPI, I <sup>2</sup> C, TDMCA	200/2822,4	24	0,001	113	113	SSOP-28
PCM1792A	Сегм. ДС	2	Ст. L-J, I2S, DSD	SPI, I <sup>2</sup> C, TDMCA	200/2822,4	24	0,0004	127	127	SSOP-28
PCM1793	Сегм. ДС	2	Ст. L-J, I2S	Спец. интерфейс	200	24	0,001	113	113	SSOP-28
PCM1794A	Сегм. ДС	2	Ст. L-J, I2S	Спец. интерфейс	200	24	0,0004	132	132	SSOP-28
PCM1795	Сегм. ДС	2	Ст. L-J, I2S, DSD	SPI, I <sup>2</sup> C, TDMCA	200/2822,4	32	0,0005	123	123	SSOP-28
PCM1796	Сегм. ДС	2	Ст. L-J, I2S, DSD	SPI, I <sup>2</sup> C, TDMCA	200/2822,4	24	0,0005	123	123	SSOP-28
PCM1798	Сегм. ДС	2	Ст. L-J, I2S	Спец. интерфейс	200	24	0,0005	123	123	SSOP-28
PCM4104	ДС	4	R-J, L-J, I2S, TDM	SPI	216	24	-100 дБ	119	118	TQFP-48
TLV320DAC23	Многоуровн. ДС	2	R-J, L-J, I2S	SPI	96	32	-88 дБ	100	90	УЗЧ, DSP, TSOP-28, QFN-28, GQE-32
TLV320DAC26	ДС	2	R-J, L-J, I2S	SPI	48	32	-95 дБ	97	Не норм.	УЗЧ, DSP, QFN-32
TLV320DAC32	ДС	2	R-J, L-J, I2S	I <sup>2</sup> C	96	32	-79 дБ	94	Не норм.	УЗЧ, DSP, QFN-32
TLV320DAC3100	ДС	2	R-J, L-J, I2S, TDM	I <sup>2</sup> C	192	24	-82 дБ	95	Не норм.	УЗЧ класс D, DSP, QFN-32
TLV320DAC3101	ДС	2	R-J, L-J, I2S, TDM	I <sup>2</sup> C	192	24	-82 дБ	95	Не норм.	УЗЧ класс D, DSP, QFN-32
TLV320DAC3120	ДС	1	R-J, L-J, I2S, TDM	I <sup>2</sup> C	192	24	-82 дБ	95	Не норм.	УЗЧ класс D, DSP, QFN-32
TLV320DAC3202	ДС	2	R-J, L-J, I2S, PCM	I <sup>2</sup> C	48	32	-74 дБ	Не норм.	100	УЗЧ класс G, WCSP-20

**Примечания:** Приведены максимальные частоты дискретизации и число разрядов; ст. – стандартный звуковой формат данных; L-J/R-J – форматы звуковых данных с левым и правым выравниванием (Left Justified/Right Justified); TDM (Time-division Multiplexed) – технология временного уплотнения; ДС – дельта-сигма; многоуровн. ДС – многоуровневая ДС; сегм. ДС – сегментированная многоуровневая ДС; все количественные параметры приведены для режима ИКМ.

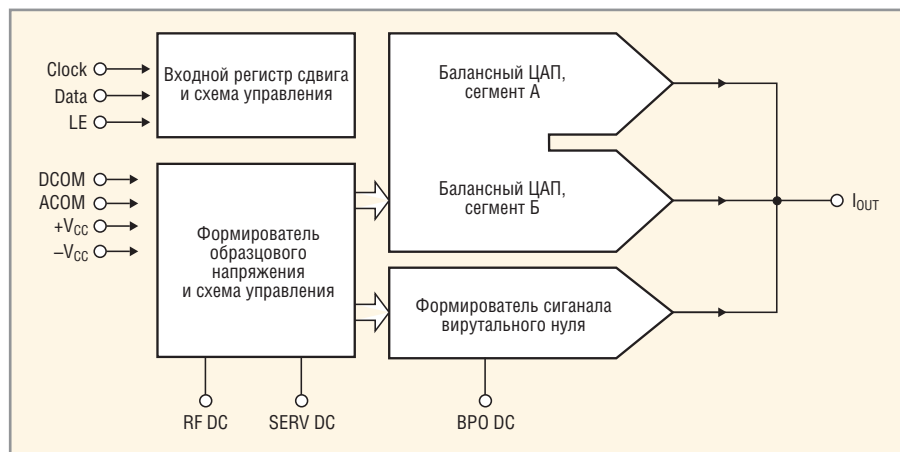


Рис. 1. Структура микросхемы PCM1702

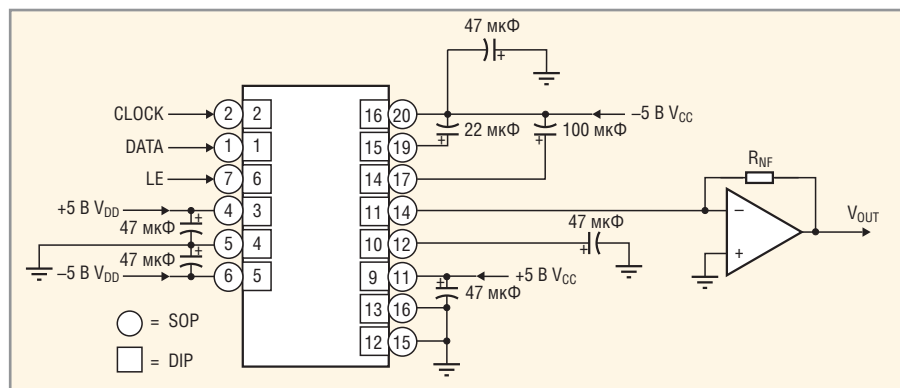


Рис. 2. Типовое включение микросхемы PCM1702

PCM54-PCM58 и PCM61 приведены в статье [3], а одного из лучших, по мнению многих специалистов, параллельного ЦАП PCM63 – в [4]. Рассмотрим особенности и парамет-

ры прецизионных параллельных ЦАП PCM1702 (редакция 2008 г.) и PCM1704 (редакция 2009 г.), имеющих в каталоге фирмы. Микросхемы PCM1702P/P-J/P-K (корпус DIP-

16), PCM1702U/U-J/U-K (SOP-16) являются одноканальными усовершенствованными 20-разрядными «кодо-зависимыми» ЦАП, выполненными по технологии BiCMOS Advanced Sign Magnitude 20-Bit DAC.

В отличие от большинства параллельных ЦАП, формирование выходного сигнала в «кодозависимых» (Sign Magnitude) осуществляется двумя независимыми ЦАП, работающими на общую нагрузку. Первый преобразователь обрабатывает область двоичного дополнительного кода (ВТС), соответствующую положительным уровням сигнала, второй – отрицательным. Такое решение обеспечивает точное преобразование сигналов вблизи критического для параллельных ЦАП уровня (нулевого уровня сигнала). Описание данного метода преобразования приведено в патенте [5], структурная схема PCM1702 показана на рисунке 1, а типовая схема включения – на рисунке 2 (в кружках номера выводов PCM1702U, в квадратах – PCM1702P). К особенностям микросхемы можно отнести:

- сверхнизкий уровень общих гармонических искажений и шума (без внешних элементов подстройки) –96 дБ;
- близкую к идеальной работу при низких уровнях выходного сигнала;

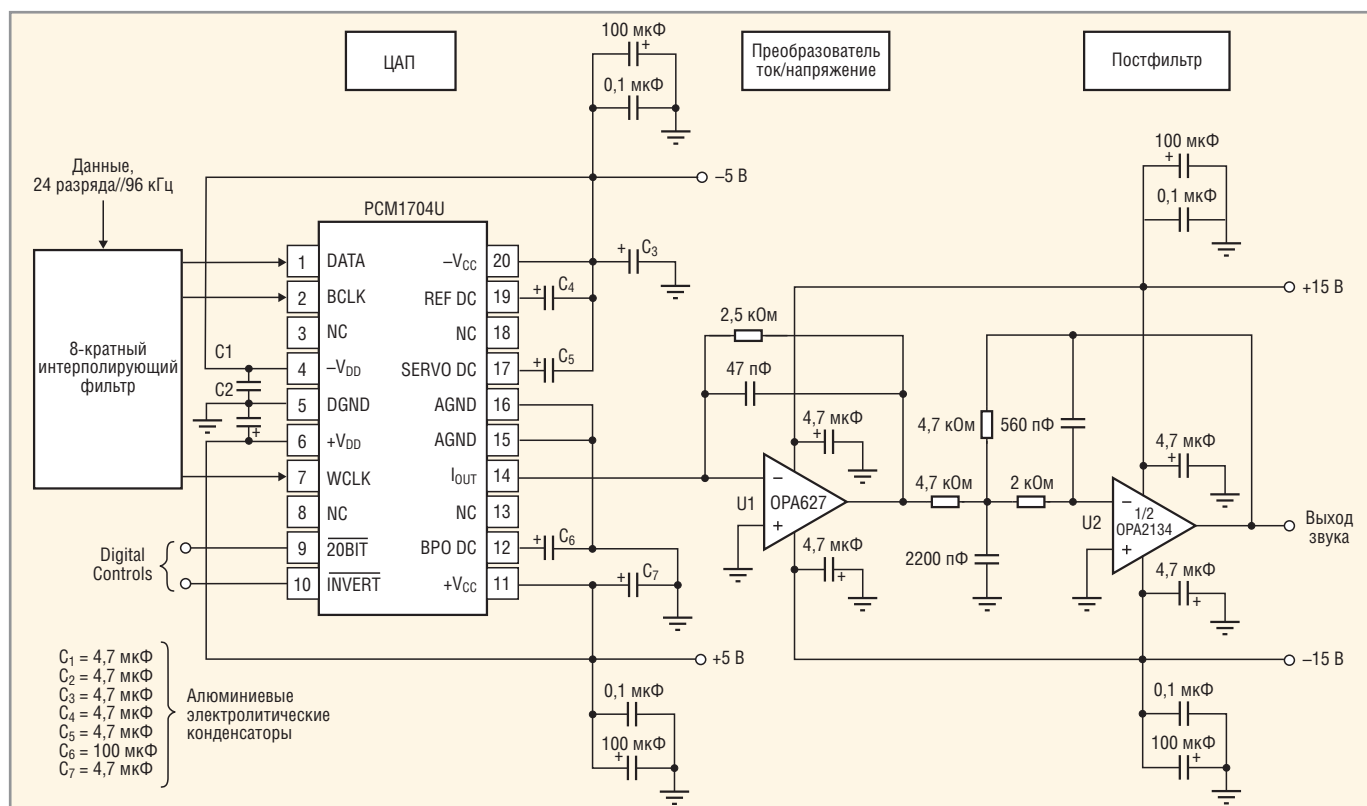
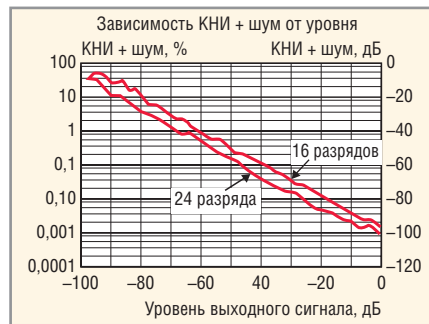


Рис. 3. Типовое включение микросхемы PCM1704

- отсутствие выбросов на выходе при переключении разрядов (Glitch-Free Output);
- типовое отношение сигнал/шум 120 дБ (с взвешивающим фильтром типа А);
- высокую скорость изменения выходного тока  $\pm 1,2$  мА за 200 нс;
- возможность работы с 24-разрядными сигналами с 16-кратной передискретизацией;
- встроенные источники опорных напряжений;
- малую потребляемую мощность (150 мВт).

Негативное влияние на качество звучания устройств на основе параллельных ЦАП оказывает параметр, называемый монотонностью передаточной характеристики (Monotonicity). Для измерения монотонности на вход ЦАП подаются код линейно нарастающего сигнала фиксированной частоты; отклонения выходного сигнала от наклонной прямой приводят к увеличению уровня гармоник основного сигнала. На практике для измерения монотонности пользуются спектральным методом измерения уровня гармоник сигнала [6].



**Рис. 4. Зависимость общих гармонических искажений и шума от уровня выходного сигнала микроконтроллера PCM1704**

Микроконтроллеры PCM1704U (корпус SOIC-20) являются 24-разрядными «кодозависимыми» ЦАП, выполненными по технологии BiCMOS. Типовая схема включения ИС приведена на рисунке 3. Особенности микроконтроллеров PCM1704U:

- частота дискретизации 16...96 кГц;
- 8-кратная передискретизации на частоте 96 кГц;
- входные данные – 20 и 24 разряда;
- динамический диапазон 112 дБ (группа К), отношение сигнал/шум 120 дБ, нелинейные искажения плюс шум 0,0008% (группа К).

На рисунке 4 приведены зависимости общих гармонических искажений



**Рис. 5. Спектры выходного сигнала микроконтроллера PCM1704**

плюс шум (THD+N) от уровня выходного сигнала при 16- и 24-разрядном квантовании. На рисунке 5 показан спектр выходного сигнала PCM1704U при уровне -90 дБ.

Из сравнения параметров рассмотренных микроконтроллеров можно сделать вывод, что по такому важному параметру, как искажения плюс шум, микроконтроллеры PCM1704 уступают PCM1702, несмотря на более высокие разрядность и частоту дискретизации. На это указывает и отсутствие в справочных данных PCM1704 параметра THD+N при выходном сигнале -60 дБ, а также его указание в процентах. Разница прояв-

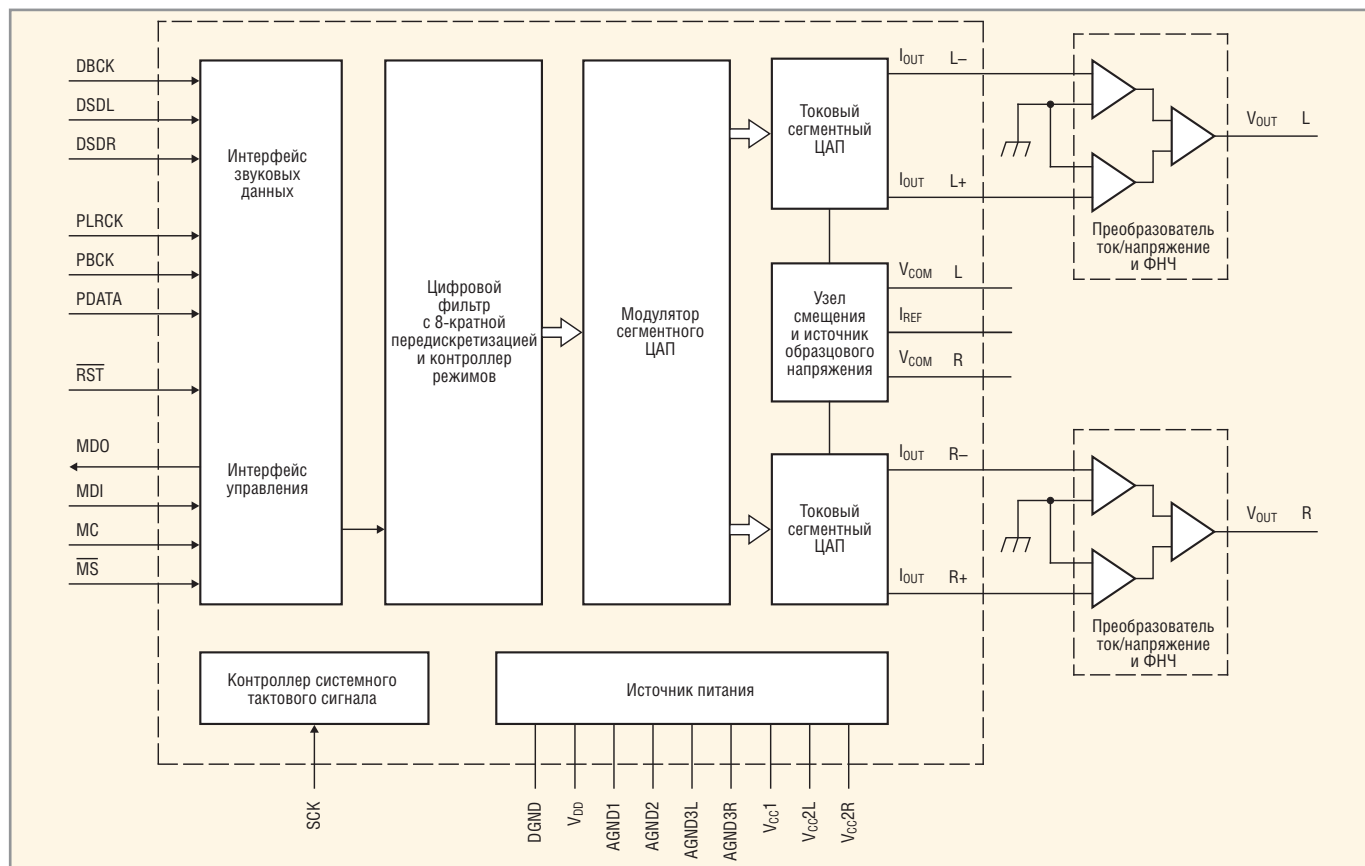


Рис. 6. Структура микросхем DSD1792A, DSD1796

ляется уже при уровне  $-20$  дБ:  $0,06\%$  у PCM1704U-K (соответствует  $-65$ дБ) и  $-84$  дБ у PCM1702P/U-K. Обе микросхемы являются одними из немногих многоразрядных ЦАП, выпуск которых в 2011 г. не прекратился.

В рассмотренные ИС многоразрядных ЦАП не входят цифровые фильтры и выходные ОУ для преобразования тока в напряжение. Перечисленные элементы, размещённые на плате отдельно от ЦАП, по мнению некоторых специалистов, позволяют добиться более высоких показателей качества преобразователей.

Подавляющая часть звуковых ЦАП Texas Instruments, выпускаемых в настоящее время, выполнена на основе различных модификаций ДС-модуляторов. В составе микросхем звуковых ЦАП, приведённых в таблице, есть приборы как бюджетного класса, так и микросхемы, предназначенные для профессиональной аппаратуры.

Микросхемы DSD1792A, DSD1794A, DSD1796 выполнены по сегментированной многоуровневой архитектуре (Advanced Segment), которая заключается в отдельной обработке разрядов: для 24-разрядных ЦАП старшие шесть разрядов обрабатываются блоком

ICOB (Inverted Complementary Offset Binary), а младшие 18 разрядов – 5-уровневым ДС-модулятором. После суммирования обоих цифровых потоков образуется 66-уровневый цифровой код, который усредняется с учётом весов (Data-weighted Averaging) и преобразуется в дифференциальный аналоговый сигнал.

Перечисленные выше приборы серии DSD, а также микросхемы PCM1791A, PCM1792A, PCM1795, PCM1796 поддерживают режим Direct-Stream-Digital (прямой цифровой поток), который отличается значительно более высокой частотой дискретизации

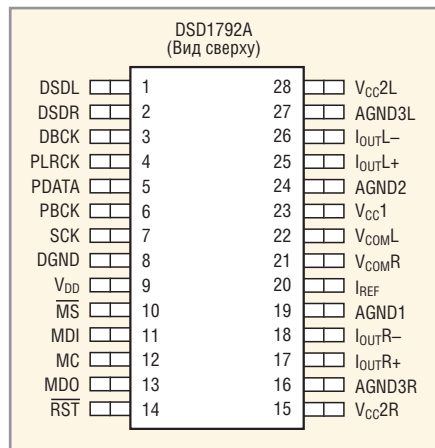


Рис. 7. Назначение выводов микросхемы DSD1792A



Рис. 8. Зависимость общих гармонических искажений и шума микросхемы DSD1792A от уровня входного сигнала

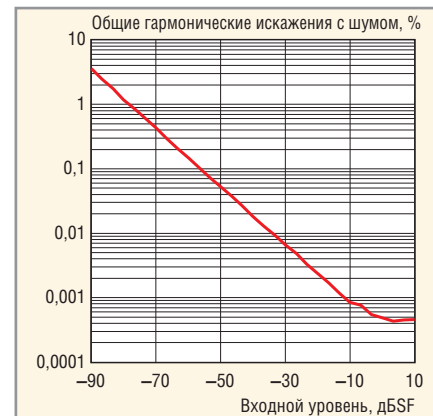


Рис. 9. Зависимость общих гармонических искажений плюс шум микросхемы DSD1796 от уровня входного сигнала

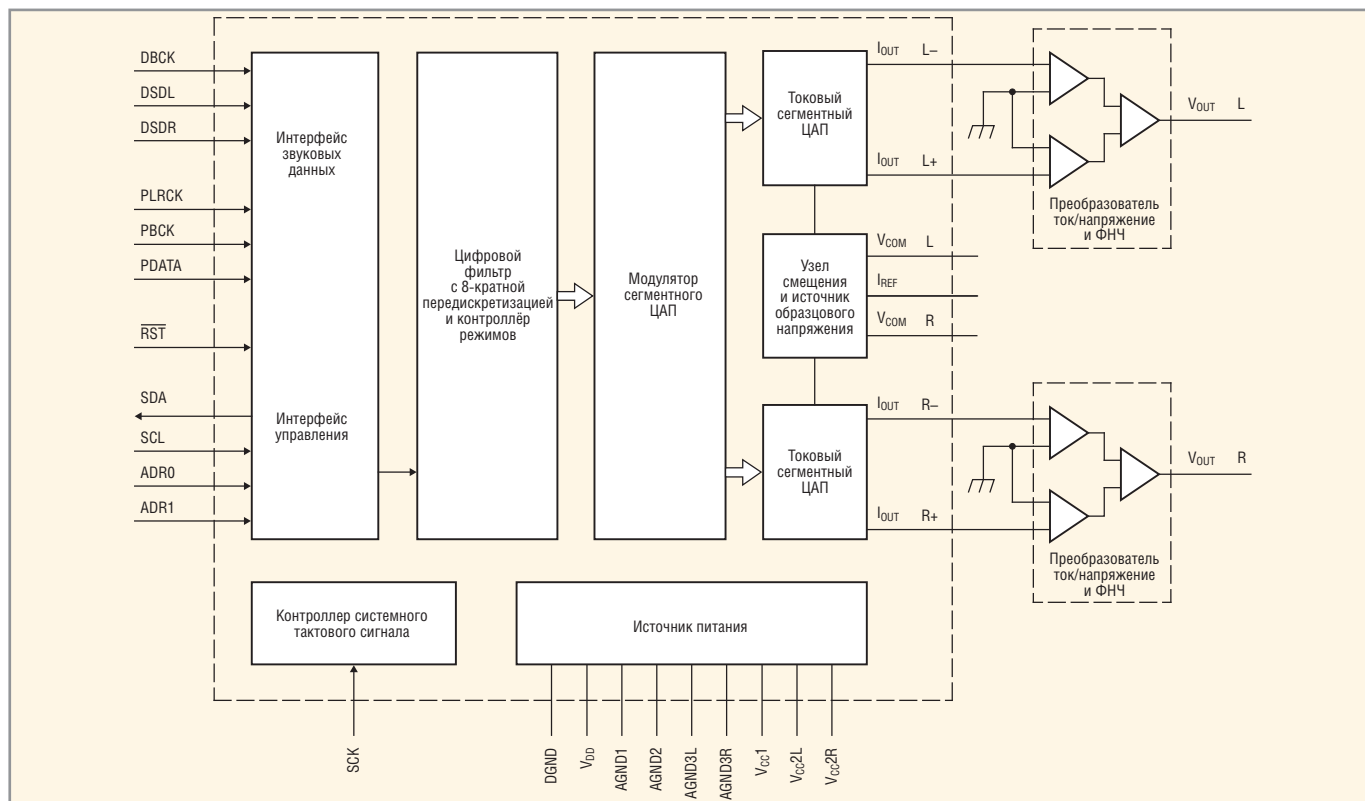
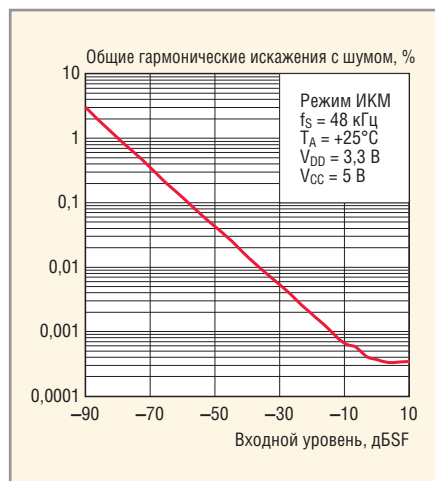


Рис. 10. Структура микросхем PCM1794A, PCM1798

по сравнению с ИКМ-записью на компакт-диске ( $44,1 \text{ кГц} \times 64 = 2822,4 \text{ кГц}$ ), при этом скорость передачи данных

составляет 2,8224 Мбит/с на каждый канал. Главные преимущества DSD: плоская АЧХ в диапазоне до 100 кГц

при динамическом диапазоне 120 дБ и более; практически полное отсутствие шума квантования; возмож-



**Рис.11. Зависимость общих гармонических искажений плюс шум микросхемы PCM1795 от уровня входного сигнала**

ность простого преобразования потоковой записи в другие форматы, в том числе CD Audio, High Sampling Audio ( $f_s = 88,2/96$  кГц), DAT, звуковое сопровождение цифрового телевидения ( $f_s = 32/48$  кГц) и др. Преимущества DSD полностью реализованы в проигрывателях SACD категории High-End.

Кособенностям микросхем PCM1791A, PCM1792A, PCM1795, PCM1796 можно отнести:

- поддержку форматов ИКМ и DSD;
- восьмикратный фильтр передискретизации (внеполосное затухание  $-130$  дБ, неравномерность в полосе пропускания  $\pm 0,00001$  дБ);
- поддержку интерфейса с временным уплотнением TDMCA (в DSD1792A, DSD1796), разработанного для сопряжения с ЦПОС компании TI, а также с другими программируемыми приборами;
- дополнительный интерфейс для поддержки внешних цифровых фильтров или сигнальных процессоров;
- функции, программируемые пользователями: регулируемый аттенюатор ( $0...-120$  дБ, шаг  $0,5$  дБ); цифровая коррекция предискажений; переключение типа АЧХ цифрового фильтра (Rolloff: Sharp/Slow);
- раздельное питание для аналоговых ( $5$  В) и цифровых ( $3,3$  В) узлов.

Области применения, рекомендуемые изготовителем: аудио/видео,

HDTV-ресиверы; SACD, DVD и Blu-ray-проигрыватели; автомобильные звуковые системы; цифровые многодорожечные магнитофоны, профессиональное звуковое оборудование.

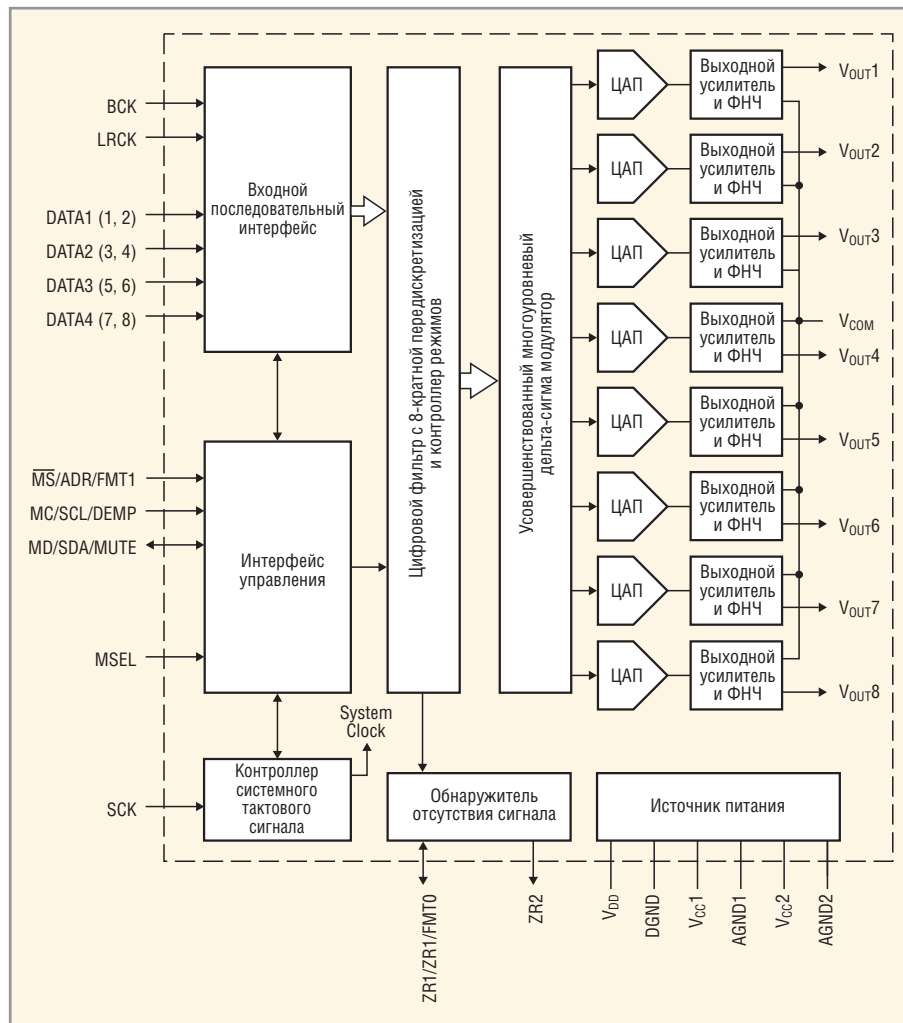
Структура микросхем DSD1792A, DSD1796 с внешними ОУ приведена на рисунке 6, назначение выводов – на рисунке 7. Микросхема DSD1794A отличается только интерфейсом управления (шины MDO, MDI, MC, MS заменены на SDA, SCL, ADDR0, ADDR1 интерфейса I<sup>2</sup>C). Основные параметры микросхем DSD1792A, DSD1794A/DSD1796 в режиме DSD: общие гармонические искажения плюс шум –  $0,0005/0,0007\%$ , динамический диапазон –  $128/122$  дБ, отношение сигнал/шум  $128/122$  дБ.

На рисунке 8 приведена зависимость гармонических искажений микросхемы DSD1792A от уровня входного сигнала (режим ИКМ); практически тот же вид имеет и характеристика микросхемы SD1794A. Аналогичная зависимость для микросхемы DSD1796 приведена на рисунке 9.

Микросхемы PCM1794A (2008 г.), PCM1795 (2009), PCM1796 (2008), PCM1798 (2009) выполнены по архитектуре Advanced Segment. Приборы PCM1795, PCM1796 могут работать и с потоками DSD; максимальное число входных двоичных разрядов для PCM1795 – 32. Все микросхемы имеют одинаковый набор возможностей и сфер применения с рассмотренными выше приборами серии DSD. Структура микросхем PCM1794A и PCM1798 приведена на рисунке 10, она практически идентична схеме, приведённой на рисунке 6. Микросхемы PCM1795 и PCM1796 также отличаются интерфейсами звуковых данных и управления. На рисунке 11 приведена зависимость общих гармонических искажений от уровня входного сигнала (режим ИКМ) для 32-разрядного ЦАП PCM1795.

Из многоканальных приборов можно отметить одну из последних разработок компании – восьмиканальный ЦАП PCM1681/PCM1681-Q1 (2011 г.) [7]. Особенности прибора:

- полный размах выходного напряжения  $3,75$  В ( $U_{пит} = 5$  В);
- цифровой фильтр с 4-/8-кратной передискретизацией, затухание  $-57$  дБ, неравномерность АЧХ  $\pm 0,015\%$ ;
- аппаратное управление функциями;
- цифровой аттенюатор до  $-100$  дБ, шаг  $1$  дБ;



**Рис. 12. Структура микросхемы PCM1681**

- пользовательские функции: выбор формата звуковых данных; мягкое снижение громкости; выбор предискажений; выбор передискретизации;
- диапазон рабочих температур  $-40...85^{\circ}\text{C}$  или  $-40...105^{\circ}\text{C}$  (автомобильные исполнения).

Сферы применения РСМ1681: внешние автомобильные усилители; интегральные аудио-/видеоресиверы; HDTV-ресиверы; звуковые карты для компьютеров класса High-End; цифровые рабочие станции и другие многоканальные приложения. Структурная схема ИС приведена на рисунке 12.

Микросхемы серии TLV предназначены для мобильных приложений, к качеству звучания которых не предъявляются жёсткие требования. В состав микросхем серии входят двухканальные УЗЧ класса D или G, в некоторые микросхемы включены цифровые сигнальные процессоры. Коротко рассмотрим особенности одной из последних разработок компании – ЦАП с усилителями для головных телефонов TLV320DAC3202 (2011 г.):

- использование УЗЧ класса G для ограничения пиков громкости;

- возможность работы с наушниками, рассчитанными на напряжение 1 В (RMS);

- малая потребляемая мощность (6,5 мВт);

- встроенная защита от коротких замыканий;

- поддержка частот дискретизации: 8; 11,025; 12; 16; 24; 32; 44,1 и 48 кГц;

- регулировка громкости в диапазоне от +4 до  $-59$  дБ (32 шага).

Сферы применения ИС: смартфоны и музыкальные телефоны; портативные навигаторы; персональные медиапроигрыватели; карманные компьютеры; портативные игровые консоли; звуковые проигрыватели на базе жёстких дисков и флэш-памяти.

Таким образом, компания Texas Instruments выпускает широкую номенклатуру ИС звуковых ЦАП. Ряд микросхем может быть использован в профессиональной звуковой аппаратуре. Несколько ИС характеризуются отношением сигнал/шум более 100 дБ и могут быть установлены в высококачественную бытовую аппаратуру (см. таблицу). Более десяти типов ИС ЦАП с отношением сигнал/шум 92...98 дБ рассчитаны на стационарную и

портативную аппаратуру бюджетного класса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов А. Преобразователи и интерфейсы для цифровых звуковых форматов высокого разрешения. Часть 1: Преобразователи. Электронные компоненты. 2005. № 1. С. 38–43.
2. Алдошина И. Физический и психоакустический анализ цифрового звука с высоким разрешением. Звукорежиссёр. 2004. № 4.
3. Петропавловский Ю. ЦАП РСМ54...56, 58, 61 фирмы TI/Burr-Brown для звуковой аппаратуры классов Hi-Fi, Hi-End. Ремонт электронной техники. 2007. № 4.
4. Петропавловский Ю. ЦАП РСМ63 и цифровой интерполирующий фильтр DF1700 фирмы TI/Burr-Brown в высококачественной звуковой аппаратуре. Ремонт электронной техники. 2007. № 6.
5. US Patent 5257027. Modified sign-magnitude DAC and method. <http://www.patentstorm.us/patents/5257027/claims.html>.
6. Андронников Д. ЦАП Lynx 24. <http://www.lynxaudio.narod.ru/articles/lynx24/lynx24.pdf>.
7. [http://www.ti.com/lscs/ti/analog/audio/audio\\_overview.page](http://www.ti.com/lscs/ti/analog/audio/audio_overview.page).

